



**Universidad
Popular del Cesar**
*DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA*



**EVALUACION DE LA EFICIENCIA DEL QUITOSANO COMO COAGULANTE
NATURAL, EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA
EMPRESA LACTEOS DEL CESAR S.A (KLAREN´S), EN LA CIUDAD DE
VALLEDUPAR**

AUTOR (ES):

JESUS ARMANDO NOVOA VASQUEZ

DEINER JOSE PALLARES CORDOBA

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
2022**

www.unicesar.edu.co
Campus Universitario Sabanas, Of. 105 D. PBX (57) (5) 5848217 EXT. 1129
Línea de atención al ciudadano 01 8000 400380
Valledupar Cesar Colombia

**EVALUACION DE LA EFICIENCIA DEL QUITOSANO COMO COAGULANTE
NATURAL, EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA
EMPRESA LACTEOS DEL CESAR S.A (KLAREN'S), EN LA CIUDAD DE
VALLEDUPAR**

AUTOR (ES):

JESUS ARMANDO NOVOA VASQUEZ
DEINER JOSE PALLARES CORDOBA

DIRECTOR

ALCIDES TORREGROZA MOZO
INGENIERO QUIMICO
MAGISTER EN CIENCIAS AMBIENTALES

CO-DIRECTORA

KARINA TORRES CERVERA
INGENIERA AMBIENTAL Y SANITARIA

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA**

2022

DEDICATORIA

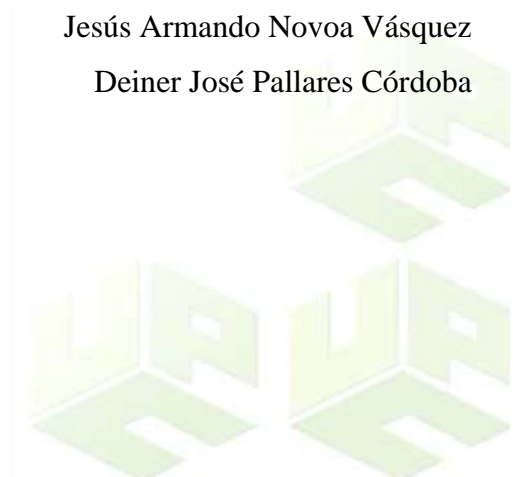
Este trabajo se lo dedicamos principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza
para continuar en este proceso.

A nuestros padres que nos han apoyado durante toda la carrera, por su amor, sacrificio y
trabajo.

A todas las personas que nos han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito,
en especial a aquellos que nos brindaron las puertas y compartieron sus conocimientos.

Jesús Armando Novoa Vásquez

Deiner José Pallares Córdoba





**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



AGRADECIMIENTOS

A Dios en primer lugar por regalarnos la sabiduría y el carácter para empezar, mantenernos y finalizar con éxito este nuevo logro en nuestras vidas, ¡ingenieros!, y porque sabemos que Él seguirá a nuestro lado en cada nuevo proyecto que emprendamos.

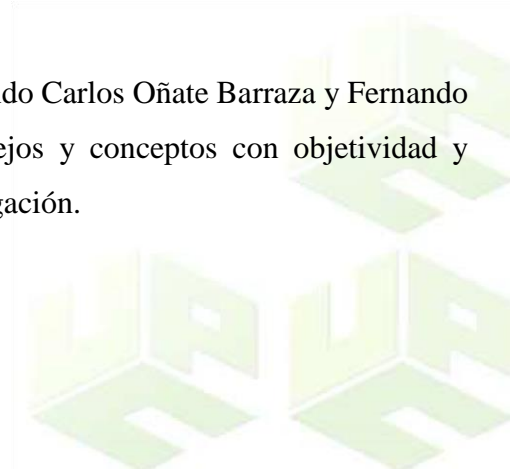
A nuestras familias porque han sido parte fundamental de este triunfo, además de ser apoyo incondicional en cada momento bueno o difícil en la vida de cada una de nosotros.

Gracias a la Universidad Popular del Cesar y a nuestros profesores por su dedicación y empeño en transmitirnos sus conocimientos y por prepararnos para enfrentar cualquier situación que se nos pueda presentar en la vida profesional.

Al Ingeniero Alcides Torregroza Mozo, muchas gracias director por su acompañamiento y dirección en este proyecto.

A nuestra asesora Karina Torres Cervera por brindar su mejor apoyo y asesoría para el desarrollo de la investigación dispuesta a servir dentro del proyecto.

A nuestros evaluadores, los ingenieros docentes Hernando Carlos Oñate Barraza y Fernando Anaya Payares por brindar sus conocimientos, consejos y conceptos con objetividad y claridad, los cuales permitieron estructurar esta investigación.

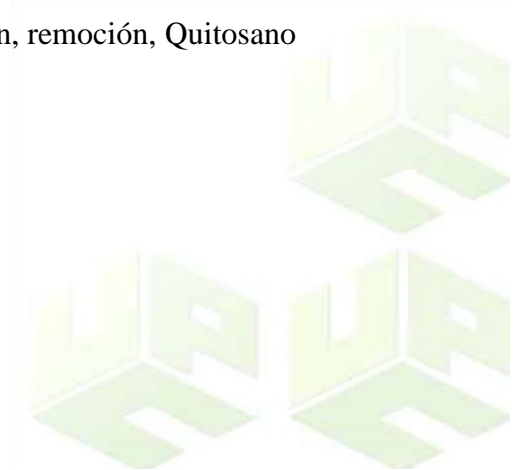




RESUMEN

En este proyecto se evaluó la eficiencia del Quitosano como coagulante natural en el tratamiento de las aguas residuales de la empresa Lácteos Del Cesar S.A. (klarens) ubicada en la ciudad de Valledupar, las muestras de agua se trabajaron a pH4, pH5 y pH6. El muestreo se realizó en la caja de inspección la cual descarga directamente al alcantarillado de la empresa antes mencionada. La muestra presentó valores iniciales para turbidez de 4518.66mg/L, SST 3333.33mg/L, SSV 3133.33mg/L, A y G 1300mg/L y DQO 8000mg/L. Se trabajó con Quitosano comercial sigma chemical Co (Qo) evaluándose las concentraciones en un rango de 60 a 180 mg/L teniendo en cuenta dosis diferente para cada pH estudiado. El proceso de coagulación floculación se realizó en el laboratorio, mediante el test de jarras. El Quitosano obtuvo su mayor eficiencia en la reducción de turbidez, DQO, SST, SSV alcanzando remociones superiores al 90% en cada parámetro a pH4, para A y G alcanzó remociones superiores al 65% a pH4. Queda demostrado que el Quitosano posee gran capacidad de remoción de los parámetros estudiados, lo anterior permite presentar este biopolímero como una alternativa viable para el tratamiento de aguas residuales de la empresa Lácteos Del Cesar S.A. (klarens).

Palabras claves: coagulación, floculación, remoción, Quitosano



ABSTRACT

In this project, the efficiency of chitosan as a natural coagulant in the treatment of wastewater of the company Lácteos Del Cesar S.A. (klarens) located in the city of Valledupar was evaluated, the water samples were worked at pH4, pH5 and pH6. The sampling was carried out in the inspection box which discharges directly into the sewer of the aforementioned company. The sample presented initial values for turbidity of 4518.66mg/L, SST 3333.33mg/L, SSV 3133.33mg/L, A y G 1300mg/L and COD 8000mg/L. We worked with commercial chitosan sigma chemical Co (Qo) evaluating concentrations in a range of 60 to 180 mg / L taking into account different doses for each pH studied. The flocculation coagulation process was carried out in the laboratory, using the jug test. Chitosan obtained its greatest efficiency in the reduction of turbidity, COD, SST, SSV reaching removals greater than 90% in each parameter at pH4, for A y G it reached removals greater than 65% at pH4. It is demonstrated that chitosan has great capacity to remove the parameters studied, the above allows to present this biopolymer as a viable alternative for the treatment of wastewater of the company Lácteos Del Cesar S.A. (klarens).

Keywords: *coagulation, flocculation, removal, chitosan*



TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTOS	4
RESUMEN	5
ABSTRACT	6
TABLA DE CONTENIDO	7
LISTA DE TABLAS	10
LISTA DE FIGURAS	13
INTRODUCCIÓN	16
1. TITULO	18
2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.	19
2.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.	21
3. JUSTIFICACIÓN.	22
4. OBJETIVOS.	24
4.1. OBJETIVO GENERAL.	24
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	24
5. MARCO REFERENCIAL	25
5.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.	25
5.2. MARCO TEÓRICO.	32



5.3. MARCO CONCEPTUAL.	64
5.4. MARCO CONTEXTUAL.	67
5.5. MARCO LEGAL.	73
5.6. MARCO INSTITUCIONAL.	75
6. MARCO METODOLÓGICO.	79
6.1. LÍNEA Y SUB LÍNEA DE INVESTIGACIÓN.	79
6.2. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.	79
6.3. POBLACIÓN DE ESTUDIO.	80
6.4. MUESTRA POBLACIONAL.	80
6.5. DISEÑO EXPERIMENTAL.	80
6.6. DESARROLLO METODOLÓGICO.	82
7. RESULTADOS Y ANALISIS.	91
7.1. CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES ASOCIADAS A LA EMPRESA LÁCTEOS DEL CESAR S.A (KLAREN´S)	91
7.2. RESULTADOS DE LOS TRATAMIENTOS REALIZADOS A LAS AGUAS RESIDUALES ASOCIADAS A LA EMPRESA LÁCTEOS DEL CESAR S.A (KLAREN´S) A DIFERENTES PH.	93
8. CONCLUSIONES.	147
9. RECOMENDACIONES.	148
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	149
11. APLICACIÓN DEL DISEÑO EXPERIMENTAL	159

PARÁMETRO TURBIDEZ.	159
PARÁMETRO DQO.	161
PARÁMETRO SST.	163
PARÁMETRO SSV	165
PARÁMETRO A Y G.	167
12. REGISTRO FOTOGRÁFICO.	169





LISTA DE TABLAS

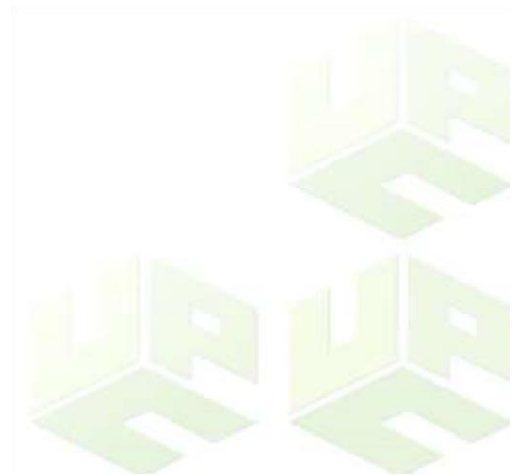
<i>Tabla 1</i>	<i>Clasificación de las fases que se utilizan para el tratamiento de aguas residuales</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 2</i>	<i>Propiedades de los coloides</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 3</i>	<i>Coagulantes metálicos</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 4</i>	<i>Clasificación de polielectrolitos</i>	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
<i>Tabla 5</i>	<i>Polímeros naturales con propiedades coagulantes</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 6</i>	<i>Normatividad colombiana relacionada con el recurso agua</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 7</i>	<i>Variables dependientes e independientes</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 8</i>	<i>Valores límites permisibles de parámetros físicos-químicos del agua residual no doméstica ARnD procedente de elaboración de productos lácteos</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 8</i>	<i>Valores límites permisibles de parámetros físicos-químicos del agua residual no doméstica ARnD procedente de elaboración de productos lácteos</i>	<i>90</i>
<i>Tabla 9</i>	<i>Resultados caracterización de aguas residuales de la planta de Klaren´s</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 10</i>	<i>Comportamiento de la remoción de turbidez durante la aplicación del Quitosano a aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s)</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 11</i>	<i>Comportamiento de la remoción de DQO durante la aplicación del Quitosano a aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s)</i>	<i>99</i>
<i>Tabla 12</i>	<i>Comportamiento de la remoción de SST durante la aplicación del Quitosano a aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s)</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 13</i>	<i>Comportamiento de la remoción de SSV durante la aplicación del Quitosano a aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s)</i>	<i>105</i>
<i>Tabla 14</i>	<i>Comportamiento de la remoción de A y G durante la aplicación del Quitosano a aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s)</i>	<i>108</i>
<i>Tabla 15</i>	<i>Comportamiento de la remoción de turbidez durante la aplicación del Quitosano a aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s)</i>	<i>114</i>



Tabla 16	<i>Comportamiento de la remoción de DQO durante la aplicación del Quitosano a aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s).</i>	----- 117
Tabla 17	<i>Comportamiento de la remoción de SST durante la aplicación del Quitosano a aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s).</i>	----- 120
Tabla 18	<i>Comportamiento de la remoción de SSV durante la aplicación del Quitosano a aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s).</i>	----- 123
Tabla 19	<i>Comportamiento de la remoción de A y G durante la aplicación del Quitosano a aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s).</i>	----- 126
Tabla 20	<i>Comportamiento de la remoción de turbidez durante la aplicación del Quitosano a aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s).</i>	----- 131
Tabla 21	<i>Comportamiento de la remoción de DQO durante la aplicación del Quitosano a aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s).</i>	----- 134
Tabla 22	<i>Comportamiento de la remoción de SST durante la aplicación del Quitosano a aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s).</i>	----- 137
Tabla 23	<i>Comportamiento de la remoción de SSV durante la aplicación del Quitosano a aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s).</i>	----- 140
Tabla 24	<i>Comportamiento de la remoción de A y G durante la aplicación del Quitosano a aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s).</i>	----- 143
Tabla 25	<i>Tratamientos tenidos en cuenta para cada uno de los parámetros</i>	----- 159
Tabla 26	<i>Repeticiones y tratamientos para Turbidez</i>	----- 159
Tabla 27	<i>Análisis de varianza para Turbidez</i>	----- 160
Tabla 28	<i>Comparaciones de media, Coeficiente de variación y prueba de Tukey</i>	----- 160
Tabla 29	<i>Repeticiones y tratamientos para DQO</i>	----- 161
Tabla 30	<i>Análisis de varianza para DQO</i>	----- 162
Tabla 31	<i>Comparaciones de media, Coeficiente de variación y prueba de Tukey</i>	----- 162



Tabla 32	<i>Repeticiones y tratamientos para SST</i>	163
Tabla 33	<i>Análisis de varianza para SST</i>	164
Tabla 34	<i>Comparaciones de media, Coeficiente de variación y prueba de Tukey</i>	164
Tabla 35	<i>Repeticiones y tratamientos para SSV</i>	165
Tabla 36	<i>Análisis de varianza para SSV</i>	165
Tabla 37	<i>Comparaciones de media, Coeficiente de variación y prueba de Tukey</i>	166
Tabla 38	<i>Repeticiones y tratamientos para A y G</i>	167
Tabla 39	<i>Análisis de varianza para A y G</i>	167
Tabla 40	<i>Comparaciones de media, Coeficiente de variación y prueba de Tukey</i>	168





LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Clasificación de Coloides -----	44
Figura 2 Formas más Conocidas de las Partículas Coloidales -----	46
Figura 3 Modelo de Puentes en la Desestabilización de Coloides Mediante Polímeros ---	52
Figura 4 Esquema Elemental de la Producción de los Derivados de la Quitina -----	62
Figura 5 Localización Geográfica de Colombia-----	68
Figura 6 Localización Geográfica del Municipio de Valledupar en el Departamento del Cesar-----	69
Figura 7 Localización Geográfica de la Empresa Lácteos del Cesar (klaren´s) -----	70
Figura 8 Logotipo de la empresa Lácteos del Cesar (KLAREN´S) -----	76
Figura 9 Estructura organizacional de KLAREN´S-----	78
Figura 10 Comportamiento de la remoción de turbidez durante la aplicación del Quitosano a pH 4 respecto a la muestra -----	97
Figura 11 Comportamiento de la remoción de turbidez durante la aplicación del Quitosano a pH 4 respecto al control-----	98
Figura 12 Comportamiento de la remoción de DQO durante la aplicación del Quitosano a pH 4 respecto a la muestra -----	100
Figura 13 Comportamiento de la remoción de DQO durante la aplicación del Quitosano a pH 4 respecto al control -----	101
Figura 14 Comportamiento de la remoción de SST durante la aplicación del Quitosano a pH 4 respecto a la muestra -----	103
Figura 15 Comportamiento de la remoción de SST durante la aplicación del Quitosano a pH 4 respecto al control -----	104
Figura 16 Comportamiento de la remoción de SSV durante la aplicación del Quitosano a pH 4 respecto a la muestra -----	106



Figura 17 Comportamiento de la remoción de SSV durante la aplicación del Quitosano a pH 4 respecto al control ----- 107

Figura 18 Comportamiento de la remoción de A y G durante la aplicación del Quitosano a pH 4 respecto a la muestra ----- **Error! Bookmark not defined.**

Figura 19 Comportamiento de la remoción de A y G durante la aplicación del Quitosano a pH 4 respecto al control ----- 110

Figura 20 Efecto de las dosis a pH4----- 111

Figura 21 Comportamiento de la remoción de turbidez durante la aplicación del Quitosano a pH 5 respecto a la muestra ----- 115

Figura 22 Comportamiento de la remoción de turbidez durante la aplicación del Quitosano a pH 5 respecto al control----- 116

Figura 23 Comportamiento de la remoción de DQO durante la aplicación del Quitosano a pH 5 respecto a la muestra ----- 118

Figura 24 Comportamiento de la remoción de DQO durante la aplicación del Quitosano a pH 5 respecto al control ----- 119

Figura 25 Comportamiento de la remoción de SST durante la aplicación del Quitosano a pH 5 respecto a la muestra ----- 121

Figura 26 Comportamiento de la remoción de SST durante la aplicación del Quitosano a pH 5 respecto al control ----- 122

Figura 27 Comportamiento de la remoción de SSV durante la aplicación del Quitosano a pH 5 respecto a la muestra ----- 124

Figura 28 Comportamiento de la remoción de SSV durante la aplicación del Quitosano a pH 5 respecto al control ----- 125

Figura 29 Comportamiento de la remoción de A y G durante la aplicación del Quitosano a pH 5 respecto a la muestra ----- 127



Figura 30 Comportamiento de la remoción de A y G durante la aplicación del Quitosano a pH 5 respecto al control -----	128
Figura 31 Efecto de las dosis a pH5-----	129
Figura 32 Comportamiento de la remoción de turbidez durante la aplicación del Quitosano a pH 6 respecto a la muestra -----	132
Figura 33 Comportamiento de la remoción de turbidez durante la aplicación del Quitosano a pH 6 respecto al control-----	133
Figura 34 Comportamiento de la remoción de DQO durante la aplicación del Quitosano a pH 6 respecto a la muestra -----	135
Figura 35 Comportamiento de la remoción de DQO durante la aplicación del Quitosano a pH 6 respecto al control -----	136
Figura 36 Comportamiento de la remoción de SST durante la aplicación del Quitosano a pH 6 respecto a la muestra. -----	138
Figura 37 Comportamiento de la remoción de SST durante la aplicación del Quitosano a pH 6 respecto al control -----	139
Figura 38 Comportamiento de la remoción de SSV durante la aplicación del Quitosano a pH 6 respecto a la muestra. -----	141
Figura 39 Comportamiento de la remoción de SSV durante la aplicación del Quitosano a pH 6 respecto al control -----	142
Figura 40 Comportamiento de la remoción de A y G durante la aplicación del Quitosano a pH 6 respecto a la muestra -----	144
Figura 41 Comportamiento de la remoción de A y G durante la aplicación del Quitosano a pH 6 respecto al control.-----	145
Figura 42 Efecto de las dosis a Ph6 -----	146



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



INTRODUCCIÓN

Las industrias lácteas se encuentran entre los sectores productivos con gran relevancia dentro de la economía nacional. La empresa Lácteos Del Cesar S.A. (klaren´s) perteneciente a este sector se dedica a la producción y comercialización de leche y derivados; dentro de sus productos encontramos leche pasteurizada, queso costeño, quesillo tipo mozzarella, suero, yogurt, avena y gelatina. En este sentido, se demanda una gran cantidad de agua para los procesos de fabricación de sus productos, lavado de equipos y superficies, lo cual se convierte en un efluente con un alto potencial de contaminación. Por lo tanto, se requiere un tratamiento adecuado para mejorar la calidad final de dichas aguas antes de su descarga.

Esta investigación surge como una alternativa viable, económica y amigable con el medio ambiente para mejorar la carga contaminante del efluente y, en consecuencia, logra el cumplimiento de la normatividad vigente en cuanto a vertimientos de aguas residuales. Existe un interés considerable en el desarrollo de productos no tóxicos que, además, garanticen una adecuada remoción de contaminantes, en este sentido se ha desarrollado el método de coagulación floculación, el cual resulta particularmente rentable y reduce significativamente la carga contaminante de los efluentes lácteos.

La principal limitación para tratar las aguas residuales lácteas se debió a que el volumen significativo de aguas residuales dificultaba el ajuste del pH y algunos coloides podían precipitarse durante este proceso, debido a que la trampa de grasas de dicha empresa se encuentra en mal estado el biotratamiento fue responsable de remover la grasa residual no disuelta. En este proyecto se evaluó la eficiencia del biopolímero Quitosano como coagulante en el tratamiento de aguas residuales lácteas, evaluando su eficiencia a diferentes concentraciones y pH. Para tal fin, se realizó muestreo y caracterización del efluente de la empresa Lácteos Del Cesar S.A. (klaren´s), en la que se determinó la eficiencia de remoción de los parámetros de estudio, los cuales fueron turbidez, DQO, SST, SSV, aceites y grasas.

Estableciendo la dosis óptima del biopolímero Quitosano para la remoción de dichos parámetros, los cuales se estudiaron a través de análisis de ensayo y error, mediante prueba de jarras.

El uso del Quitosano tuvo especial interés ya que no genera efectos tóxicos sobre la salud, tiene un bajo costo, es biodegradable y presenta un alto grado de remoción de carga orgánica.



1. TITULO

EVALUACION DE LA EFICIENCIA DEL QUITOSANO COMO COAGULANTE
NATURAL, EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA
LACTEOS DEL CESAR S.A (KLAREN´S), EN LA CIUDAD DE VALLEDUPAR





2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

El aumento poblacional y con ello su industrialización, ha conllevado a una mayor demanda del recurso hídrico para la satisfacción de sus necesidades, el desarrollo y sostenimiento de estos procesos han conducido al deterioro de los cuerpos hídricos, que se usan en los diferentes campos de desarrollo, alterando no sólo la calidad de ésta, sino también, la perturbación de la fauna y flora que le rodea (Monroy, 2010).

Colombia no es ajena a esta problemática, las cuáles radican en los pocos esfuerzos que se hacen, en implementar sistemas eficaces para su tratamiento y finalmente son vertidos a los cuerpos de agua sin ningún tratamiento (Monroy, 2010).

Según el SIAC aproximadamente el 96% de las aguas residuales generadas por actividades domésticas e industriales no se les da un debido tratamiento, generando grandes consecuencias para los ecosistemas, con un agravio especial para los recursos hídricos, que se han convertido en un problema muy sensible desde el punto de vista de impacto ambiental que tiene hoy en día el país (Díaz, 2013).

Al ser vertidas a la superficie sin sus debidas acciones de control y manejo destruyen la capa vegetal, erosionan el suelo y contaminan los cauces de los ríos, eliminando organismos bentónicos e interrumpiendo la cadena trófica (Johnson & Hallberg, 2005), ya que estas liberan gases, causan sabor, olor, imparten color, turbidez y promueven la eutrofización (Tikariha y col., 2014).

Estas aguas, en su mayoría ácidas con bajos valores de pH, incrementan la concentración de sólidos disueltos y suspendidos, que son potencialmente contaminantes de las fuentes de aguas subterráneas (Alhamel, 2016).

Las industrias lácteas no son ajenas a estas problemáticas ya que generan entre 3.739 y 11.217 millones de m³ de aguas residuales al año, es decir, 1 a 3 veces el volumen de leche procesada (Kushwaha y col., 2011), concentrando en estas la mayor cantidad de

contaminantes originados en sus procesos, las cuales se caracterizan por poseer una gran cantidad de materia orgánica, especialmente grasas y aceites, además de sólidos suspendidos y valores de pH que se salen de los rangos aceptables para vertimiento (Arango y col., 2007).

La empresa Lácteos del Cesar S.A. (klarens) ubicada en Valledupar, se dedica a la elaboración de productos lácteos, la cual, almacena 60 mil litros de leche por día, siendo esta la materia prima en los procesos de producción, que junto al lavado de la maquinaria y las instalaciones produce un vertido de agua residual hasta de 90 mil litros diarios (Guzmán 2013); el uso del agua en este tipo de empresas da como resultado, que estas presenten residuos con altos índices de grasas y aceites, del mismo modo sales, materia orgánica y presenten características físicas las cuales deben considerarse para su tratamiento, como son, un color blanco y una alta temperatura (Mendoza, 2013).

Estudios de la contraloría municipal de Valledupar, (2009) afirma que sus aguas residuales tienen valores en los parámetros, 11700 ppm DQO, 8100 ppm DBO5, 1655,5 ppm SST y 873,3 ppm Aceites y Grasas, parámetros que están por fuera de los valores permisibles establecidos por la norma legal vigente en los decretos 3930 de 2010 y la resolución 0631 de 2015; debido a que la empresa realiza sus vertimientos a la red de alcantarillado municipal y al no darle solución se esperan problemas como aumento de la carga orgánica, obstrucción en tuberías, sobrepresión en la PTAR, contaminación del suelo y agua subterránea.

Dada la importancia que tienen estos procesos, generadores de las aguas residuales en la economía y en la vida de los colombianos, se hace necesario la búsqueda de alternativas más amigables con el medio ambiente y con excelentes resultados en la remoción de estos contaminantes, para que sus efluentes cumplan con la normatividad vigente antes mencionada, la cual establece los parámetros y los valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a sistemas de alcantarillados público, y así mismo minimizar parte de la contaminación que es causa de este tipo de



**Universidad
Popular del Cesar**

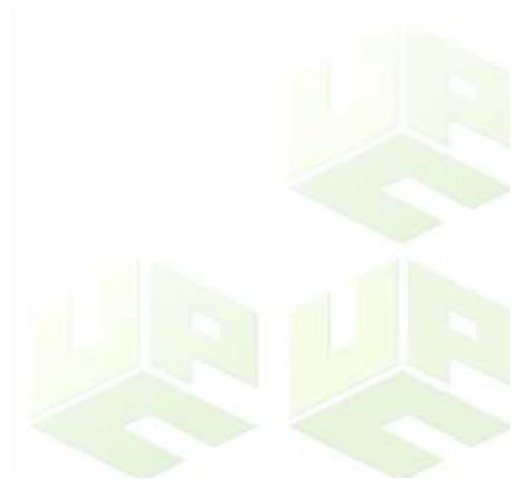
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



procesos; es así que se plantea al Quitosano como un coagulante alternativo en la remoción de estos contaminantes, debido a estudios que lo catalogan como un bio adsorbente natural con gran capacidad en la remoción de estos.

2.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

¿Cuál será la eficiencia del Quitosano como coagulante natural en el tratamiento de aguas residuales de la empresa Lácteos del Cesar S.A. (Klaren's) en la ciudad de Valledupar?





3. JUSTIFICACIÓN.

Según El Ministerio de Comercio Industria y Turismo & El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2016) afirman que la industria láctea en Colombia, representa actualmente el 2,3% de PIB nacional, generando un gran aporte en la economía y la vida de los colombianos, no obstante, es también un generador de residuos especialmente líquidos, que si no se les da un debido tratamiento contaminan gravemente los recursos hídricos receptores (Kushwaha y col., 2011).

Entre las técnicas más utilizadas para tratar efluentes provenientes de estas industrias son la coagulación y floculación (Šciban y col., 2009), sin embargo, estos procesos implican la utilización de agentes químicos como sales de aluminio y de hierro y polímeros sintéticos como la poliacrilamida (Shak y col, 2014), los cuales presentan efectos nocivos sobre el medio ambiente y la salud humana, debido a que tienen muy baja biodegradabilidad en el suelo y agua, demostrándose que la exposición e ingesta de grandes cantidades de estos productos generan enfermedades como Alzheimer, así como el hecho de que afectan considerablemente pH del agua tratada (Vijayaraghavan y col., 2011).

Debido a que las industrias del sector lácteo debe cumplir con lo dispuesto en la Resolución 0631 del 2015, la cual establece los parámetros y los valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a sistemas de alcantarillados público, del mismo modo el decreto 3930 de 2010 por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. La Resolución 1023 de 2005 adoptó las Guías Ambientales como un instrumento de autorregulación y autogestión en cada sector productivo como el lechero.

Por lo anterior, esta investigación consiste en desarrollar una alternativa eficiente para el tratamiento de estos efluentes utilizando un polímero natural (Quitosano), como una

opción a los problemas actuales de contaminación ya que es una tecnología limpia y amigable con el ambiente (Banchón y col., 2016).

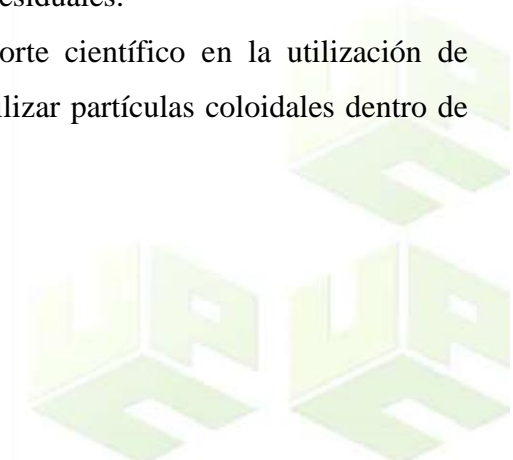
Estudios indican que tiene excelentes características como coagulante y floculante en el tratamiento de aguas residuales con alta turbidez y alta alcalinidad, así como también en la remoción de partículas coloidales sólidas y grasas (Lárez, 2006).

Los polímeros naturales y sus derivados son altamente biodegradables, así como sus intermedios de degradación son inofensivos para los seres humanos y los ecosistemas (You y col., 2009); teniendo en cuenta que el Quitosano utilizado como materia prima en el proceso de coagulación es fácilmente encontrado en Colombia, por lo tanto, los costos se reducen y además su grado de toxicidad es muy bajo (Lárez, 2003).

Con esta investigación se comprobará la eficiencia del polímero natural (Quitosano) en el tratamiento de aguas residuales procedentes de la industria de la leche klaren's, el cual puede generar beneficios para la empresa en cuanto al cumplimiento de la norma de descargas de aguas residuales, menor impacto ambiental, y menor cantidad de residuos o lodos.

Es así que se hace de vital importancia este proyecto, debido a qué países en desarrollo y con altos índices de contaminación como Colombia, requieran adoptar alternativas tecnológicas amigables con el medio ambiente a partir de agentes coagulantes y floculantes de fuentes naturales para el tratamiento de estas aguas residuales.

Por tanto, esta investigación procura dar soporte científico en la utilización de coagulante natural a base de Quitosano, para desestabilizar partículas coloidales dentro de aguas residuales provenientes de las industrias lácteas.





4. OBJETIVOS.

4.1. OBJETIVO GENERAL.

Evaluar la eficiencia del Quitosano como coagulante natural en el tratamiento de aguas residuales de la empresa Lácteos del Cesar S.A. (Klaren´s) en la ciudad de Valledupar.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Caracterizar fisicoquímicamente las muestras de aguas residuales generadas por la industria láctea (Klaren´s), mediante pruebas de pH, Turbidez, SSV, SST, DQO, Aceites y Grasas
- Establecer la dosis óptima a agregar de Quitosano comercial Sigma Chemical Co en el proceso de coagulación-floculación mediante el ensayo de prueba de jarras
- Determinar la efectividad del Quitosano comercial Sigma Chemical Co para determinar la remoción de los parámetros fisicoquímicos, turbidez, SST, SSV, DQO, Aceites y grasas en las muestras de agua residual proveniente de la industria láctea (Klaren´s),





5. MARCO REFERENCIAL

5.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.

5.1.1. Antecedentes Internacionales.

Diversos estudios en todo el mundo evidencian la eficiencia del quitosano y de otros coagulantes naturales para el tratamiento y remoción de parámetros fisicoquímicos en aguas residuales industriales, esto lo manifiesta las investigaciones de: Ramírez y col., (2015), Buttice y col., (2015), Pezoti y col., (2014), Norzita y col., (2013), Caldera y col., (2011), Mohd y col., (2009).

En este orden de ideas, (Muniz y col., 2020) en la ciudad de Sao Pulo, Brasil desarrolló la investigación titulada “Tratamiento primario mejorado químicamente de aguas residuales lácteas usando quitosano obtenido de desechos de camarones: optimización usando un diseño de matriz Doehlert”; publicada en la revista Tecnología ambiental, con la finalidad de remover las cargas no biodegradables del efluente lácteo mediante un tratamiento primario. El tratamiento consistió en el uso del quitosano con un grado de desacetilación igual al 81%. Se encontró que una dosis de quitosano de 73,34 mg/L a pH 5,00 era óptima para la remoción de contaminantes como DQO, turbidez y UV 254 los cuales fueron de 77,5%, 97,6% y 88,8%, respectivamente. Los mecanismos de coagulación-floculación implicados en el tratamiento de SDE mediado por quitosano implican la neutralización de las cargas electrostáticas transportadas en los grupos amina presentes en el quitosano catiónico a pH 5,00. Por lo anterior, el quitosano de los desechos de camarones es una alternativa ecológica y de bajo costo para la remoción de contaminantes de los efluentes lácteos utilizando el CEPT.

Al respecto, (Diaz y col., 2019), en su tesis de grado titulada “uso del quitosano como coagulante natural para el tratamiento de efluentes generados por la industria textil caso:



compañía universal textil S.A.”; en la ciudad de Callao, Perú. Para optar el título de ingeniero ambiental y de recursos renovables, en la universidad nacional del callao, Perú, con la finalidad de evaluar la eficiencia del quitosano comercial frente al Dynafloc AM en la remoción de los sólidos suspendidos y coloidales que se encuentran en las aguas residuales de la compañía universal textil CURSA, mediante el análisis del porcentaje de remoción de turbidez, DBO, DQO y SST. El procedimiento experimental se llevó a cabo mediante el test de jarras, los resultados de esta investigación demostraron una alta eficiencia de eliminación, donde la dosis que más presentó remoción de los parámetros evaluados fue de 135mg/L en mezcla lenta con una velocidad de 40RPM y a mezcla rápida con una velocidad de 200 RPM, se obtuvo que el pH óptimo fue de 9, y unas remociones de turbidez en un 96,21%, SST en un 94,78%, DBO₅ en un 82,11% y de DQO en un 82,42% en comparación con el Dynafloc AM en el que se obtuvo como valores finales de turbidez de 85.66 %, TSS de 9.48 %, DBO₅ de 76.84% y DQO de 76.29 % de remoción con respecto a los valores iniciales del efluente textil para una dosis óptima de 1ml /L. Los valores obtenidos en la caracterización del efluente tratado con dosis óptima de quitosano demuestran que el Quitosano como coagulante natural es eficiente en la remoción de partículas coloidales y suspendidas presentes en el efluente de estudio.

Así mismo, (Geetha y col., 2013), en su investigación “Tratamiento de aguas residuales de productos lácteos con quitosano de cáscara de cangrejo de bajo peso molecular” publicada en la revista de la institución de la institución de ingenieros (india), de la ciudad de Muscat, Oman. Evaluó la eficiencia del quitosano como coagulante en las aguas residuales de la producción de lacteos, para estudiar parámetros como: pH, DQO, turbidez, SST, tiempo de mezcla, velocidad y dosis de coagulante a partir de quitosano elaborado en laboratorio. Las características del efluente tratado mostraron que el quitosano se puede usar de manera efectiva como adsorbente en el tratamiento de aguas residuales de productos lácteos. Las



condiciones óptimas para este estudio fueron 150 mg/l de quitosano, pH 5 y 50 min de tiempo de mezclado con 50 rpm de velocidad de mezclado. El quitosano mostró el rendimiento más alto en estas condiciones con 79 % de DQO, 93 % de turbidez y 73 % de reducción de TSS. El resultado mostró que el quitosano es un coagulante eficaz, que puede reducir el nivel de DQO.

Al respecto, Sarkar y col., (2006), en su artículo de investigación “Tratamiento de aguas residuales en industrias lácteas: posibilidad de reutilización” publicado en la revista elsevier, en la India. Este tuvo por objetivo estimar el quitosano a diferentes valores de pH y concentraciones con la finalidad de la reutilización de aguas residuales de la industria láctea mediante coagulación, adsorción y separación por membrana. En esta investigación se realizaron estudios exhaustivos de pretratamiento. Se estudió el quitosano a dosis de 100 y 10 mg/L, se encontró que en dosis bajas de 10 mg/L es un coagulante efectivo en aguas residuales lácteas, el rendimiento de este coagulante dependió del pH el cual presenta su mejor comportamiento a un pH 4,0. Esta es una investigación necesaria porque es un estudio pionero que explica el comportamiento del quitosano en este tipo de aguas, lo cual ayuda de manera significativa el desarrollo de esta investigación.

Del mismo modo, (Ahmad y col., 2005), indica en su artículo de investigación titulado “Adsorción de aceite residual del efluente del molino de aceite de palma utilizando quitosano en polvo y copos: estudios de equilibrio y cinéticos” en la revista Elsevier, universidad Sainz, en la ciudad de Penang, Malaysia. Tuvo como finalidad evaluar la coagulación de los residuos de la producción de aceite de palma utilizando quitosano en polvo y quitosano en escamas. La muestra contenía cerca de 2000mg/L de aceite residual las pruebas se realizaron mediante un aparato de jarras convencional en función de diferentes concentraciones de aceite residual, pH, tiempo de contacto y dosificación en peso de quitosano. Se obtuvo como resultado que el polvo de quitosano a una concentración de



500mg/L por un tiempo de contacto de 15 minutos, a un pH de 5,0 presentó la mejor remoción de aceite residual en casi un 99%.

5.1.2. Antecedentes Nacionales

En este orden de ideas, Rodríguez y col., (2019), en su artículo de investigación “evaluación del quitosano como coagulante para el tratamiento de efluentes piscícolas” publicado en la revista colombiana de biotecnología volumen XXI No 1, en la ciudad de Bogotá, Colombia. El cual tuvo por finalidad evaluar el quitosano como coagulante natural utilizado en la clarificación de efluentes piscícolas en tecnología biofloc (BFT) y en sistema de recirculación acuícola (RSA). Implementándose un diseño experimental aleatorizado de una vía con efecto fijos. Los parámetros a evaluar fueron sólidos suspendidos volátiles (SSV), sólidos suspendidos totales (SST) y turbidez en valores de NTU. Las pruebas se realizaron mediante ensayo de jarras con dosis de quitosano de 3,6,9,12 y 15 mg/L. como resultado se encontró que la dosis de quitosano que obtuvo un mejor porcentaje de remoción fue de 9 mg/L, logró remociones del 88% y valores de 3,9 NTU, la eliminación de SST fue de 82,5% y de SSV de 81,3%. Se pudo concluir que el porcentaje de remoción de sólidos fue menor al esperado, sin embargo, el quitosano permitió eliminar de forma eficiente turbidez del efluente (BFT).

De igual manera Torregroza (2017), en su estudio titulado “eficiencia de coagulantes en el tratamiento de aguas residuales asociadas a la producción de aceites de palma en Palmacara Cesar”; para optar el título de magister en ciencias ambientales, en la Universidad Popular del Cesar, Valledupar, Colombia. Evaluó la eficiencia de coagulantes extraídos del Quitosano, el *Lemaireocereus Griseus* (Cactus Cardón Guajiro) y el Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) como coagulantes en el tratamiento de agua residual asociadas a la producción de aceite de palma. Tomaron muestras de aguas residuales bajo diferentes condiciones de acidez (pH: 4, 5, 6, 7, 8) y se realizaron pruebas de coagulación, floculación y sedimentación

mediante ensayo de jarras. Los resultados mostraron que la eficiencia de remoción de cada coagulante varió en función del pH, con rendimientos superiores al 90% en todos los parámetros (DQO, SST, SSV y A y G) para el Quitosano en un rango de pH de 4 a 6. El sulfato de aluminio presenta remociones mayores al 60% en DQO, la efectividad mostrada para las demás variables supera el 85% en remoción a pH de 5 a 7 y el *Lemnaireocereus Griseus* demuestra su efectividad en A y G superando el 40% en remoción, mientras que para los otros parámetros supera el 70% para pH de 6 a 8.

Adicionalmente, Rodríguez y col., (2015), en su artículo de investigación titulado “Uso de un polímero natural (quitosano) como coagulante durante el tratamiento de agua para consumo”, evaluaron la eficiencia del quitosano como coagulante durante el tratamiento del agua cruda proveniente del río Guatapurí, en la ciudad de Valledupar, Colombia. Para aguas con un contenido de turbidez de 100 y 1500 NTU, se estableció una dosis óptima de coagulante de quitosano. Los productos obtenidos fueron los siguientes: para aguas con turbidez de 100 NTU se presentó una dosis óptima de 20 mg/l y un porcentaje de remoción por encima del 96% de turbidez mientras que en aguas con turbidez inicial de 1500 NTU se consiguió una dosis óptima de 40 mg/l y una remoción cercana al 99,9% de turbidez. Se concluyó que el quitosano se presenta como una alternativa eficiente para el tratamiento de aguas de consumo.

Al respecto Mercado y col., (2014), desarrollaron la investigación “eficiencia del quitosano como coagulante en el tratamiento de las aguas asociadas a la producción de aceite de palma” como trabajo de grado, para optar el título de ingeniero ambiental y sanitario, en la Universidad Popular del Cesar, Valledupar, Colombia. Con la finalidad de evaluar la eficiencia del quitosano comercial como coagulante en el tratamiento de aguas de producción de aceite de palma (APAP), bajo distintas condiciones de (4, 5 y 6) y concentración de



coagulante (100, 200, 300, y 400 mg/L). Esta investigación se realizó con métodos experimentales midiendo los efectos y variaciones que se presentan (Francis Bacon 1620), se llevó a cabo en tres etapas: estas fueron: etapa 1: preparación de solución coagulante. Etapa 2: en esta fase el autor desarrolló el proceso de coagulación. Etapa 3: por último, se realizó el procesamiento de información para los parámetros fisicoquímicos obtenidos. La eficiencia del quitosano se evaluó en términos de remoción de turbidez, sólidos suspendidos totales (SST), sólidos suspendidos volátiles (SSV), grasas, aceites y demanda química de oxígeno (DQO). Los autores encontraron que la concentración óptima de quitosano con la cual se logró un mayor porcentaje de remoción de contaminantes fue de 400 mg/L a un pH de 6, logrando remociones de más del 87% y concluyendo así, que el quitosano se presenta como una alternativa viable en el proceso de tratamiento de aguas de la producción de aceite de palma. Esta investigación es necesaria porque en ella se somete a prueba la eficiencia del quitosano en la remoción de parámetros fisicoquímicos tales como DQO, DBO, SST, SSV, aceites y grasas, a cierto rango de pH; estos parámetros serán objeto de estudio del presente proyecto por lo tanto son considerados como aportes directos de esta investigación a la nuestra.

Por otra parte, Baquero y col., (2014), en su investigación “eficacia del quitosano en el post tratamiento de aguas residuales municipales”; en la ciudad de Valledupar, Colombia. Se evidenció la eficiencia del quitosano como coagulante natural para remover valores del parámetro DQO obteniéndose como resultado el porcentaje de remoción de 57,63% con un pH de 6,90 para una dosis de 80mg/L de coagulante. Se concluye que el quitosano es un coagulante eficaz para el pos tratamiento de las aguas residuales municipales dado que se presentan buenos resultados de remoción de la demanda química de oxígeno.

Así mismo, Duarte y col., (2009), en su estudio titulado “remoción de cromo de aguas residuales de curtiembres usando quitosano obtenido de desechos de camarón”. Publicado en

la revista Scientia et Technica No 42, agosto de 2009. Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. Con la finalidad de utilizar el quitosano como bioadsorbente para remover el cromo de las aguas residuales de la industria de curtimbres. Evaluaron el quitosano extraído del exoesqueleto del camarón (*litopenaus vanamei*) por medio del método FT-IR, en el cual observaron la presencia de grupos amino e hidroxilos, confirmando que el procedimiento de obtención del quitosano fue efectivo, con un rendimiento del 29% y un grado de desacetilación del 79,3% comparable con el quitosano comercial. Como resultado se preparó una solución patrón de $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$. El quitosano tuvo una adsorción del 85% de Cr (III) para la solución patrón de $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ y del 45% para las aguas residuales de la industria de curtiembres. En los ensayos, además, encontraron que el pH óptimo fue de 4.0, concluyendo que es un parámetro fundamental en la capacidad de adsorción de cromo empleando quitosano.





5.2. MARCO TEÓRICO.

5.2.1. *Procesos de la Industria Láctea.*

5.2.1.1. Recepción de la Leche y Tratamiento. La leche se recibe en la instalación transportada en cisternas de acero inoxidable, isotermas o refrigeradas, por medio de bombas es enviada a tanques de almacenamiento pasando por un tamiz con el que se separan las, seguidamente la leche pasa a un depósito de desaireación sometido a la acción del vacío con el fin de eliminar el oxígeno el cual provoca la fragmentación de la materia grasa y alterar su calidad, desde ahí la leche es enviada a una centrífuga de alta velocidad donde se eliminan el resto de impurezas y un gran número de microorganismos, luego la leche pasa a un tanque en el que se enfría hasta 4°C, y se bombea a depósitos de almacenamiento de leche cruda. (Calderón y col., 2018).

La leche recibe los siguientes tratamientos:

- Pre calentamiento en un pasteurizador hasta 60-70°C
- Centrifugado-desnatado
- Homogeneización
- Calentamiento en pasteurizador hasta 72-75°C

Enfriamiento posterior a 4°C en pasteurizador, este enfriamiento puede realizarse con circulación a contracorriente de manera que el calor se ceda a la leche que entra.

La pasteurización tiene como finalidad eliminar los microorganismos que puedan provocar olores o sabores desagradables en el producto final.

En el proceso de centrifugación y desnatado se separa la nata de la leche, que se pasteriza y vuelve a mezclarse con la leche en un porcentaje de grasa estandarizado.

La homogeneización tiene como propósito desintegrar y dividir finamente los glóbulos de grasa en la leche, con objeto de conseguir una suspensión permanente y evitar



que la grasa se separe del resto de los componentes y ascienda hacia la superficie por su menor peso. (Calderón y col., 2018).

5.2.1.1.1. Elaboración de Yogurt. La leche concentrada o enriquecida con leche en polvo hasta aumentar su extracto seco en un 2-2,5%, es pasteurizada a 90-92°C durante uno a cinco minutos. La leche debe ser previamente higienizada para eliminar las impurezas presentes y desairada para eliminar el oxígeno oculto y posibles olores. Posteriormente, la leche es sometida a una homogenización para dividir finamente y dispersar los glóbulos de grasa evitando que asciendan a la superficie. A continuación, la leche es inoculada con un cultivo de fermentos lácticos en una proporción de un 1,5-3% para enviarse a envasar a unos 45°C manteniéndose esta temperatura durante tres a cuatro horas en las incubadoras, para elaborar yogurt dulce y aromatizado se añaden, antes de la fermentación, el azúcar y los aromas y colorantes deseados. (Andrades J, 2008).

5.2.1.1.2. Elaboración de Suero. De acuerdo con Granados y col., (2016) para la elaboración de suero se realizan los siguientes pasos:

- Tratamiento térmico. Este proceso se llevó a cabo en una marmita con agitación constante a temperatura de 80 °C por 20 minutos con el objetivo de destruir los microorganismos patógenos.
- Enfriamiento de la leche. La leche pasteurizada se enfrió a la temperatura de 30°C que es la ideal para este tipo de microorganismos (mesófilos).
- Inoculación. Se inoculó el 0.2 % del *Lactobacillus lactis* (p/v) marca Hansen en siembra directa con agitación constante durante 3 minutos con el objetivo de distribuir el cultivo uniformemente y activar los microorganismos.
- Ruptura del coagulo. La sinéresis (desuerado) se realizó por separación del lactosuero del suero costeño por decantación utilizando un lienzo estéril.

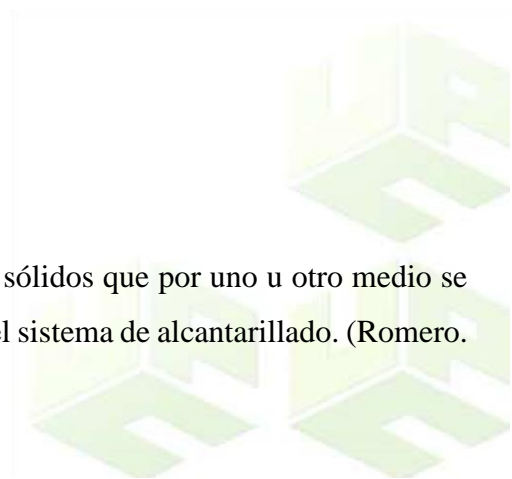
- Separación del suero. El suero costeño es separado del lactosuero por decantación hasta un 30 % del volumen inicial con peso final.
- Homogenización. Este proceso se realizó en la licuadora con adición de sal al 1.2 % del volumen final obtenido durante 10 minutos.
- Enfriamiento. Se realizó para inhibir el crecimiento bacteriano y estabilizar la acidez a los valores deseados.
- Envasado. El envasado del suero se realizó en empaques herméticamente cerrados con el objetivo principal de mantener el producto seguro de agentes físicos, químicos y biológicos, además de ayudar en el transporte y presentación del mismo.

5.2.1.1.3. Elaboración de Quesos. En términos generales, el proceso de fabricación del queso presenta las siguientes etapas:

- Recepción y tratamientos previos de la leche, entre los que se incluyen refrigeración, higienización, pasteurización.
- Coagulación y separación parcial del suero.
- Llenado de moldes y prensado previo.
- Moldeado.
- Prensado.
- Salado.
- Maduración.

5.2.2. Aguas Residuales.

Las aguas residuales son las aguas usadas y los sólidos que por uno u otro medio se introducen en las cloacas y son transportadas mediante el sistema de alcantarillado. (Romero. 2004).





5.2.2.1. Aguas Residuales Industriales Lácteas. Las aguas residuales lácteas son el resultado de los procesos industriales alimenticios dedicados a la elaboración de productos de la leche y derivados. Los efluentes producidos en esta industria son el resultado de:

- Limpieza de equipos; como tanques, moldes, pasteurizadores, mesas etc.
- Aguas de refrigeración (en caso de no ser recuperadas).
- Condensados
- Restos de leche y lactosuero

Se estima que cerca del 90% de la DQO de las aguas residuales de la industria láctea se atribuye a componentes de la leche. Además de esto, se encuentran en su composición, grasas, proteínas, azúcares, sales minerales, estabilizantes y colorantes. Todos estos componentes aparecen en las aguas residuales en mayor o menor cantidad, con las aguas de limpieza y los productos que se empleen en ésta. Los contaminantes esperados son materia orgánica, sólidos en suspensión, aceites y grasas, nitrógeno orgánico y detergentes. Generalmente tienen un carácter alcalino, con valores de pH que pueden aproximarse a 11. (Calderón y col., 2018).

Las aguas residuales de las industrias de tratamiento de leche presentan las siguientes características generales:

- Elevado carácter orgánico; DBO₅ y DQO
- Presencia de aceites y grasas.
- Concentraciones altas de nitratos y fosforo (debido a productos de limpieza).
- Presencia de sólidos en suspensión en la elaboración de quesos.
- Conductividad elevada (debido al vertido de cloruro sódico procedente del salado del queso).
- Valores de pH extremos, debido a operaciones de limpieza, uso de ácidos y bases.



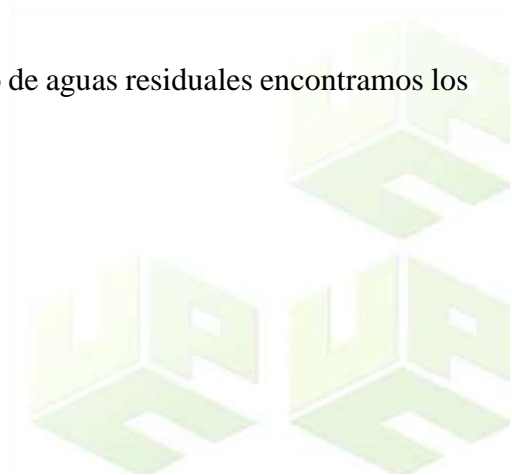
5.2.3. Tratamiento de Aguas Residuales.

El término tratamiento de aguas hace referencia al conjunto de operaciones y procesos unitarios de tipo físico, químico o biológico el cual tiene por objetivo la remoción de contaminantes (Muñoz, 2008).

Una planta de tratamiento para efluentes lácteos requiere ser diseñada básicamente para remover los niveles contaminantes de parámetros tales como: DBO5, aceites y grasas, sólidos suspendidos, y para corregir el pH del efluente, a pesar de la variabilidad en los parámetros de vertido, se puede considerar unos sistemas básicos de control y de pretratamiento que se adapten a las características generales de los vertidos y que puedan servir de orientación para que las empresas desarrollen unos sistemas más específicos y adecuados a los vertidos que generan.

Con carácter general, el tratamiento de estas aguas residuales puede realizarse mediante un tratamiento biológico, requiriendo previamente la separación de sólidos en suspensión y de Aceites y Grasas. En el caso de las aguas procedentes de la elaboración de quesos puede ser necesaria, además, la eliminación de fósforo. Por otro lado, dada la elevadísima DQO y conductividad del lactosuero, la primera medida de control es recuperar totalmente los restos de lactosuero y evitar que estos lleguen a mezclarse con el resto de las aguas residuales. (Andrades J, 2008).

De acuerdo con Muñoz (2008), en el tratamiento de aguas residuales encontramos los siguientes procesos:



5.2.3.1. Procesos Físicos. Se definen como aquellos en los que se emplean las fuerzas físicas para su tratamiento; se emplean durante todo el proceso de tratamiento de las aguas residuales.

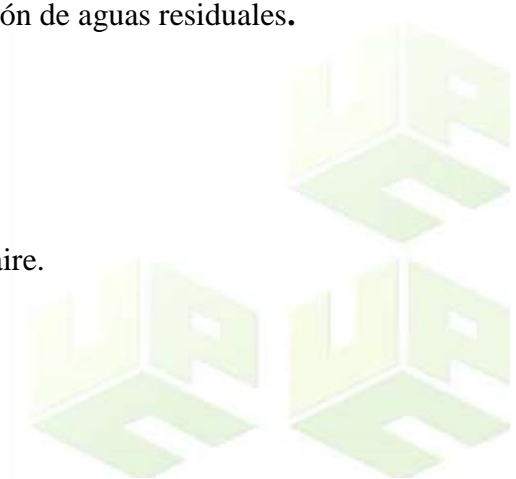
Los principales procesos físicos que se dan en el tratamiento de aguas son los siguientes:

- Desbaste.
- Dilaceración.
- Evaporación.
- Homogenización de caudales.
- Mezclado.
- Floculación.
- Sedimentación
- Flotación
- Filtración.

5.2.3.2. Procesos Químicos. Se denominan procesos químicos a aquellos procesos donde la remoción de contaminantes en el agua residual se produce al agregar reactivos químicos. los procesos químicos se utilizan en depuración de aguas residuales.

Los procesos químicos principales son:

- Precipitación química.
- Transferencia de gas.
- Separación de amoníaco mediante arrastre con aire.
- Adsorción.
- Desinfección.
- Desinfección con cloro.

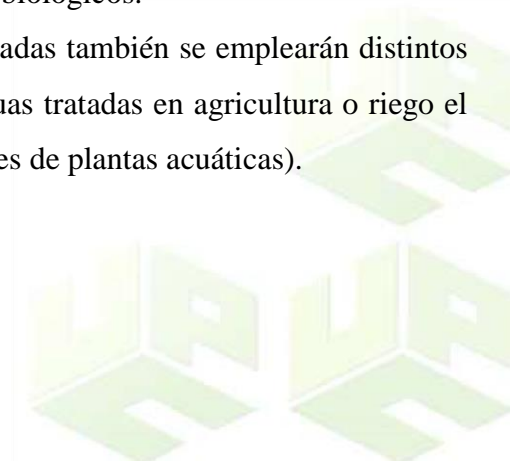


- Ozono (eliminación de materia orgánica refractaria).
- De cloración.
- De cloración con dióxido de azufre.
- Eliminación de sustancias inorgánicas disueltas.
- Intercambio iónico.
- Ósmosis inversa.
- Ultrafiltración

5.2.3.3. Procesos Biológicos. Los procesos biológicos tienen por finalidad la coagulación y eliminación de sólidos coloidales no sedimentables en la decantación primaria, así como la estabilización de la materia orgánica. Esto se consigue biológicamente utilizando una variedad de microorganismos.

Según el tipo de agua residual a tratar los objetivos en el tratamiento biológico pueden diferenciarse ligeramente; en el tratamiento de aguas residuales domésticas los objetivos son la eliminación de la materia orgánica así como nutrientes tales como el nitrógeno y el fósforo; en aguas residuales industriales el tratamiento persigue la eliminación de compuestos orgánicos e inorgánicos, teniendo en cuenta que algunos metales pesados son tóxicos para las bacterias utilizadas en ciertos procesos biológicos.

En función del uso de las aguas residuales tratadas también se emplearán distintos tratamientos biológicos (por ejemplo, para usar las aguas tratadas en agricultura o riego el tratamiento va encaminado a la eliminación de nutrientes de plantas acuáticas).



5.2.3.4. Sistema Actual de Tratamiento de Aguas Residuales en Lácteos del Cesar S.A. La empresa Lácteos del Cesar S.A. cuenta con un tratamiento preliminar; es decir, una serie de trampa de grasas para cada sección de producción. El sistema general de trampa de grasas se encuentra en buen funcionamiento en gran parte de su totalidad, con pequeñas deficiencias en la retención de sólidos, esta entidad se encuentra en la búsqueda de implementar una planta de tratamiento para las aguas residuales que producen.

5.2.3.5. Niveles de Tratamiento. La aplicación secuencial combinada de estas operaciones y procesos unitarios da lugar a la generación de los diferentes niveles de tratamiento, los cuales se pueden observar en la tabla 1.

Tabla 1

Clasificación de las fases que se utilizan para el tratamiento de aguas residuales

Nivel de tratamiento	Descripción
Preliminar	Remoción de constituyentes de aguas residuales tal como trapos, ramitas, elementos flotantes, piedras, y grasa que puede causar problemas de mantenimiento u operacionales con las operaciones de tratamiento, y los sistemas auxiliares.
Primario	Remoción de una porción de sólidos suspendidos y materia orgánica.
Primario avanzado	Remoción reforzada de sólidos suspendidos y materia orgánica de las aguas residuales; efectuada especialmente por adición química o filtración.

Nivel de tratamiento	Descripción
Secundario convencional	Remoción de materia orgánica biodegradable (en solución o suspensión) y sólidos suspendidos. Un proceso de desinfección típica.
Secundario con remoción de nutrientes	Remoción de materia orgánica biodegradable, sólidos suspendidos, y nutrientes (nitrógeno fosforo o ambos).
Terciario	Remoción de residuos de sólidos suspendido (después del tratamiento secundario), usualmente por medio de filtración granular, filtración superficial, y membranas. La desinfección también es un proceso común del tratamiento terciario. La remoción de nutrientes es a menudo incluida en esta fase.
Avanzado	Remoción de sólidos totales disueltos y constituyentes traza como lo requieran o lo especifiquen las aplicaciones de reúso del agua.

Nota. Fuente: Muñoz, 2008.



5.2.4. Características Fisicoquímicas de las Aguas Residuales.

Algunas de las características fisicoquímicas de las aguas residuales son las consideradas a continuación:

5.2.4.1. Contenido de Sólidos. El contenido de sólidos permite conocer de forma general la naturaleza del agua y si se requiere de algún tratamiento en particular que facilite su remoción. Los sólidos en las aguas residuales pueden estar en forma suspendida, coloidal y disuelta. (Crites y col., 2000). Presente en aguas de suministros, aguas residuales domésticas e industriales, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas.

Se considera que la característica más importante es el contenido de sólidos, pues este grupo incluye la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta (Crites y col, 2000).



5.2.4.2. Turbiedad. Se debe a la cantidad de materias en suspensión que hay en las aguas residuales (limo, materia orgánica y microorganismos). Esta turbidez, en las masas de aguas receptoras, afecta a la penetración de la luz, lo que redundaría en una menor productividad primaria.

5.2.4.3. Color. El color es una medida cualitativa de la edad del agua residual. El color se usa para estimar de forma general la condición del agua residual, un color grisáceo indica un agua residual reciente, un color oscuro o negro es indicativo de un agua séptica, que ha presentado descomposición en condiciones anaerobias. El color gris oscuro o negro es debido a la formación de sulfuros metálicos (Metcalf y col., 1996).

5.2.4.4. Temperatura. La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua de suministro, esto debido a la incorporación de aguas calientes que proceden de las casas y de los diferentes usos industriales. La temperatura es un parámetro importante dentro del desarrollo de la vida acuática, el aumento de la temperatura del agua puede desarrollar cambios en las especies piscícolas y cambios o alteraciones en sistemas ecológicos. (Crites y col., 2000).

5.2.4.5. Grasas y Aceites (A y G). Presente en aguas residuales domésticas, industriales y comerciales. Las grasas y aceites no removidos pueden afectar la vida biológica de los cursos receptores (Metcalf y col, 1996).

5.2.4.6. pH. Es importante para las reacciones químicas que toman lugar dentro de agua. El intervalo de pH adecuado para la existencia de la mayor parte de la vida biológica va de (5 a 9) pH. Las aguas residuales con valores fuera de este rango son de difícil tratamiento mediante procesos biológicos. El pH de las aguas tratadas debe ser ajustado a los límites exigidos antes de ser vertido a los receptores. (Crites y col., 2000).



5.2.4.7. Demanda Química de Oxígeno (DQO). La DQO es la cantidad de materia orgánica del agua, mediante la determinación del oxígeno necesario para oxidarla, en este caso facilitado por un oxidante químico como el permanganato potásico o el dicromato potásico. Este parámetro no puede ser menor que la DBO, ya que es mayor la cantidad de sustancias oxidables por vía química que por vía biológica. Regularmente la determinación con permanganato en las aguas para consumo, denominándose oxidabilidad al permanganato, mientras que en las aguas residuales se realiza con dicromato, llamándose más propiamente DQO. (Metcalf y col., 1996).

5.2.4.8. Materia Orgánica. Constituye la tercera parte de los elementos de las aguas residuales, cerca del 75% de los sólidos en suspensión y 40% de los sólidos filtrables son de naturaleza orgánica. Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son las proteínas (40-60) %, hidratos de carbono (25-50) %, las grasas y aceites (8-10) % otros compuestos presentes en aguas residuales son los carbohidratos, pesticidas, fenoles, proteínas, compuestos orgánicos volátiles (COV), grasas y aceites y agentes tensoactivos. (Metcalf y col., 1996).

5.2.5. Coloides.

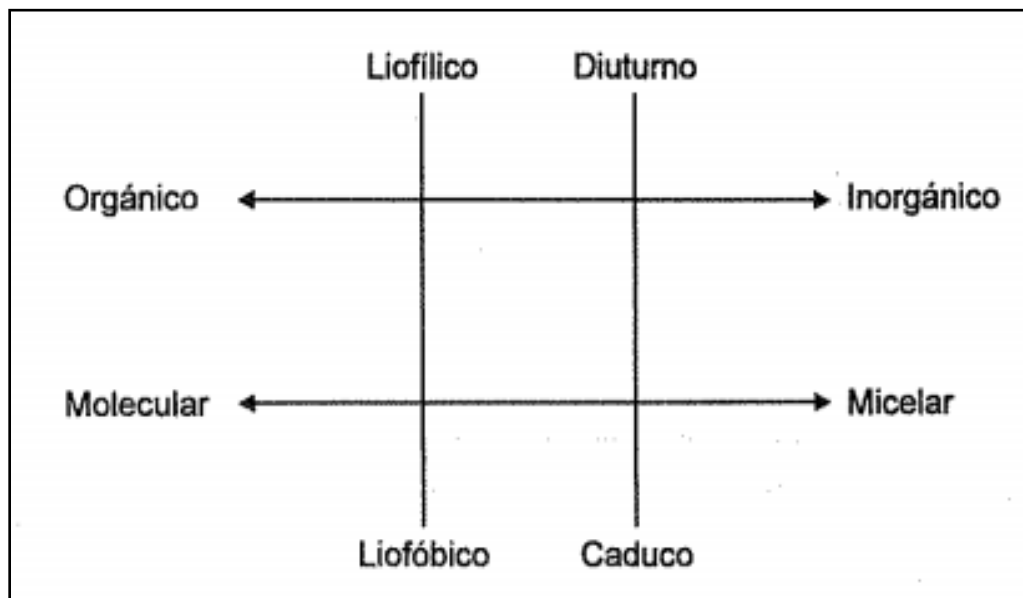
Se denomina coloides a los sólidos finamente divididos que no se sedimentan por acción de la gravedad, pero que pueden removerse del agua mediante coagulación, filtración o acción biológica. Con base a su tamaño los coloides han sido definidos como partículas cuyo diámetro varía entre 1 y 100 nm, Todas las partículas coloidales en una determinada dispersión acuosa, poseen la misma carga eléctrica neta ya sea positiva o negativa. Debido a esto existe entre ellas una repulsión electrostática, que las mantiene separadas, lo cual dificulta su remoción. (Romero, 2009).



Los coloides se clasifican de acuerdo a la siguiente figura.

Figura 1

Clasificación de Coloides



Nota. Fuente Arboleda, 2000.

- Los coloides moleculares, están constituidos por sustancias polímeros, formadas por largas cadenas orgánicas, con pesos moleculares muy grandes (15.000 - 100.000) y tamaños entre 10^2 y $[5 \times 10]^2 \mu\text{m}$ de longitud por 0.2 y 1 μm de grosor. Estos polímeros, como la gelatina, las proteínas, el almidón, etc., no obstante, al estar dispersados molecularmente, no constituyen verdaderos solutos, sino coloides.

- Los coloides de asociación o micelares pueden formarse por asociación de moléculas más pequeñas de minerales (ejemplo: oro) o compuestos orgánicos (ejemplo: jabones, detergentes), que espontáneamente se aglutinan en presencia de un dispersante en partículas de tamaño coloidal.
- Los coloides liofílicos estos son los que reaccionan químicamente con el agua y con los coagulantes, en los coloides liofílicos la estabilidad se mantiene por la hidratación, pues las moléculas de agua son atraídas a la superficie de las partículas y actúan como una barrera para el contacto entre ellas (Ejemplo: jabones, materia orgánica encontrada en el agua negra). Su estabilidad depende
- Los coloides liofóbicos están, en cambio, formados por sustancias insolubles en el agua y su coagulación se logra predominantemente por reacciones físicas y no químicas. En los liofóbicos la estabilidad es predominantemente un fenómeno eléctrico, por la existencia de una carga opuesta envolvente a dicha superficie (ejemplo: arcillas, metales) y por lo mismo son mucho más inestables que los liofílicos. Son el tipo de dispersiones que más interesa en el tratamiento de aguas potables.
- Los coloides caducos son, los transitorios que se aglutinan o cambian rápidamente. Los coloides, además, pueden ser orgánicos como las proteínas o las grasas, o inorgánicos como el oro o las arcillas minerales.

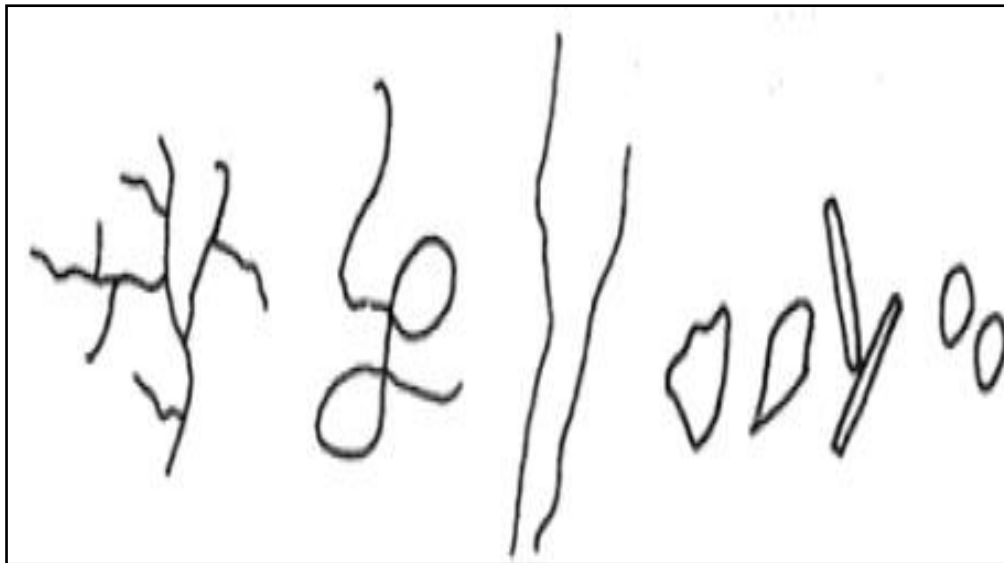


5.2.5.1. Forma de un Coloide. La forma de los coloides tiene relación directa con sus propiedades. Sin embargo, no existe, una clasificación adecuada de las formas coloidales. Algunos las clasifican en isométricas y anisométricas. Las primeras son aquellas que tienen dimensiones uniformes en todas las direcciones (esferas, poliedros); las segundas son las que se extienden en una o dos dimensiones, estas pueden ser cilindros, láminas, cintas, etc. (Arboleda, 2000).

La Figura 2 muestra las formas más comunes de un coloide.

Figura 2

Formas más Conocidas de las Partículas Coloidales



Nota. Fuente: Arboleda, 2000

5.2.5.2. Propiedades de un coloide. Según Arboleda, (2000) algunas de las propiedades más importantes de un coloide son:

Tabla 2

Propiedades de los coloides

	Movimiento browniano
Propiedades cinéticas	Difusión
	Presión osmótica
Propiedades ópticas	Efecto Tyndall-Faraday
	Coloración

Nota. Fuente: Arboleda, (2000).

5.2.5.2.1. Propiedades cinéticas. Estas pueden ser:

- **Movimiento browniano:** se define como el movimiento constante e irregular que presenta una partícula coloidal. Sumado a esto, también poseen una gran área superficial específica, es decir, su masa es despreciable con respecto a su área
- **Difusión:** El movimiento incesante de las partículas coloidales hace que éstas se difundan, esto es, que se distribuyan uniformemente en el solvente. La velocidad de difusión es mucho menor que la velocidad media de la partícula en el movimiento browniano. Por otra parte, cuanto más grande sea ésta, la rata de difusión es menor.
- **Presión osmótica:** Debido al movimiento browniano, si la concentración de partículas en un líquido no es uniforme, se produce un flujo de material desde las zonas de alta concentración hacia las de baja concentración hasta alcanzar un equilibrio. Esta es la razón por la cual, si se introduce una celda, hecha de una membrana semipermeable

que contenga cierta dispersión coloidal, en un líquido puro, éste trata de introducirse dentro de ella, para establecer una concentración uniforme, diluyendo la dispersión coloidal y produciendo una elevación del líquido dentro de la celda. El incremento de volumen produce una presión llamada, presión osmótica.

5.2.5.2.2. Propiedades ópticas

- El efecto Tyndall-Faraday: Describe la forma como se dispersa la luz en una solución coloidal, este fenómeno se utiliza para determinar la turbiedad del agua, puesto que la dispersión de un haz incidente guarda una estrecha relación con el diámetro, número, masa, tamaño y forma de las partículas presentes en la muestra.
- Opalescencia: Se define como la coloración que emiten los coloides, esta se puede utilizar para medir la concentración de coloides. Los coloides son primariamente incoloros. Sin embargo. las suspensiones coloidales aparecen con una cierta coloración. Por ejemplo, la suspensión de hidróxido férrico es roja. Esto puede deberse:
 - A la diseminación de la luz, y.
 - A la absorción selectiva por el coloide de una cierta longitud de onda.

5.2.6. Proceso de coagulación-floculación.

Según lo dicho por Arboleda (2000), se denomina coagulación-floculación al proceso mediante el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas o floc, con peso específico superior al del agua. Dicho proceso se utiliza para:

- Remoción de turbiedad orgánica o inorgánica que no puede sedimentar rápidamente.
- Remoción de color verdadero y aparente
- Eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación



- Eliminación de sustancias que producen olor y sabor en algunos casos y de precipitados químicos suspendidos o compuestos orgánicos en otros.

La coagulación se refiere al proceso de desestabilización de las partículas suspendidas de modo que se reduzcan las fuerzas de separación entre ellas. La floculación tiene relación con los fenómenos de transporte dentro del líquido para que las partículas hagan contacto. Esto implica la formación de puentes químicos entre partículas de modo que se forme una malla de coágulos, la cual sería tridimensional y porosa. Así se formaría, mediante el crecimiento de partículas coaguladas, un floc suficientemente grande y pesado como para sedimentar. El término coágulo se refiere a las reacciones que suceden al agregar un reactivo químico (coagulante) en agua, originando productos insolubles. La coagulación comienza al agregar el coagulante al agua y dura fracciones de segundo (Ríos y Col., 2006).

5.2.6.1. Mecanismos de coagulación. Cuatro mecanismos de coagulación pueden actuar, los cuales son los siguientes:

- Adsorción y neutralización de cargas: Basado en las fuerzas electrostáticas de atracción y repulsión. Las partículas coloidales poseen carga negativa en su superficie, estas cargas llamadas primarias atraen los iones positivos que se encuentran en solución dentro del agua y forman la primera capa adherida al coloide. El potencial en la superficie del plano de cizallamiento es el potencial electrocinética - potencial ZETA, este potencial rige el desplazamiento de coloides y su interacción mutua. Después de la teoría de la doble capa la coagulación es la considerada como la anulación del potencial obtenido por adición de productos de coagulación – floculación, en la que la fuerza natural de mezcla debido al movimiento browniano no es suficiente requiriéndose una energía complementaria necesaria; por ejemplo, realizar la agitación mecánica o hidráulica. (Andía, 2000). Según Arboleda (2000), la neutralización de las cargas de coloides liofóbicos puede hacerse:

-Por la adsorción de los iones que posean una carga opuesta a la de los iones determinantes de potencial, y que sean capaces de reemplazar a estos en la capa de Stern y.

-Por cambio de la concentración de los iones que determinan el potencial del coloide.

- Coagulación por compresión de la doble capa: Esta teoría establece que las partículas hidrofóbicas suspendidas en el agua transportan cargas eléctricas en su superficie, o sea por la existencia de una carga opuesta envolvente en dicha superficie. El grado de estabilidad de una partícula es determinado por el potencial z , el cual está relacionado con la carga de la partícula y la distancia a través de la cual la carga es efectiva. El concepto de potencial z surge de la teoría de la doble capa, donde las partículas coloidales poseen dos capas eléctricas formadas por aniones y cationes los cuales derivan su estabilidad, una capa externa que contiene aniones intercambiables de Na^+ , Mg^+ , K^+ , Ca^+ , H^+ , etc.. A su vez la estabilidad de los coloides depende de las fuerzas de atracción y repulsión (fuerzas de Vander Waals) que actúan sobre ellas (Romero 2009).
- Incorporación o barrido: Se da producción de precipitado por sobresaturación de coagulante, excediendo el límite de solubilidad de ese compuesto en el agua. En ese momento se precipitan los hidróxidos que se forma por la reacción de la alcalinidad y el agua misma con los coagulantes, con lo que se induce a un floc de barrido que atrapa en su caída a los colides y partículas en suspensión las cuales se ven obligadas a decantar (Arboleda, 2000).
- Puente químico: Establece una relación de dependencia entre las fuerzas químicas y la superficie de los coloides, donde la unión de partículas se realiza por medio de cadenas poliméricas donde se establecerán enlaces de hidrogeno, covalentes, iónicos etc., entre las moléculas adsorbidas y la superficie del coloide, en cuyos casos

quedarán adheridas a puntos fijos de adsorción y su número podrá aumentar hasta lograr estabilizar el coloide. De esta manera se forma un puente molecular que une una partícula con otra, la repetición de este fenómeno produce masas llamadas floc (Arboleda, 2000).

Mediante el uso de compuestos orgánicos sintéticos y naturales que presenten grandes cadenas moleculares y que presenten sitios ionizables a lo largo de la cadena se produce este mecanismo de coagulación.

La teoría de puente se explica de la siguiente manera:

Reacción 1. Un polímero tiene ciertos grupos que interaccionan con la superficie de las partículas coloidales y se deja que el resto de la molécula se extienda hacia la solución.

Reacción 2. Si una segunda partícula con algunos sitios de adsorción vacíos entra en contacto con los segmentos extendidos, puede realizarse una unión. El polímero sirve de puente en el complejo partícula-polímero-partícula.

Reacción 3. Si no se dispone de una segunda partícula, los segmentos dispersos del polímero pueden eventualmente adsorberse en otros lados de la partícula original, lo que hace imposible que el polímero sirva de puente y se produce la re estabilización de las partículas.

La figura 3 describe la teoría de puente químico, se puede observar que la poli(acrilamida hidrolizada produce la coagulación con concentraciones más bajas que el Al^{+++} y también se nota que ocurre el re estabilización por exceso de coagulante debido a que tanto el coloide como el polímero tienen la misma carga.

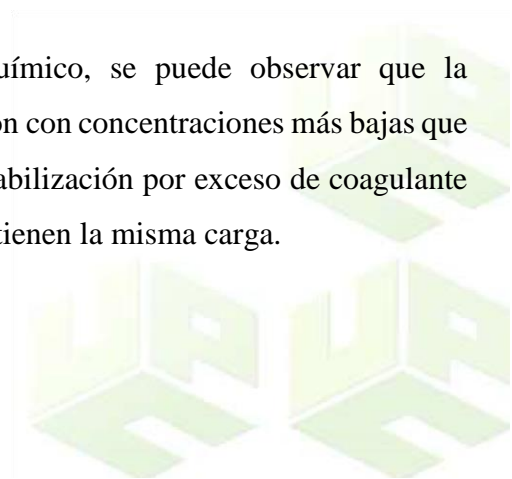
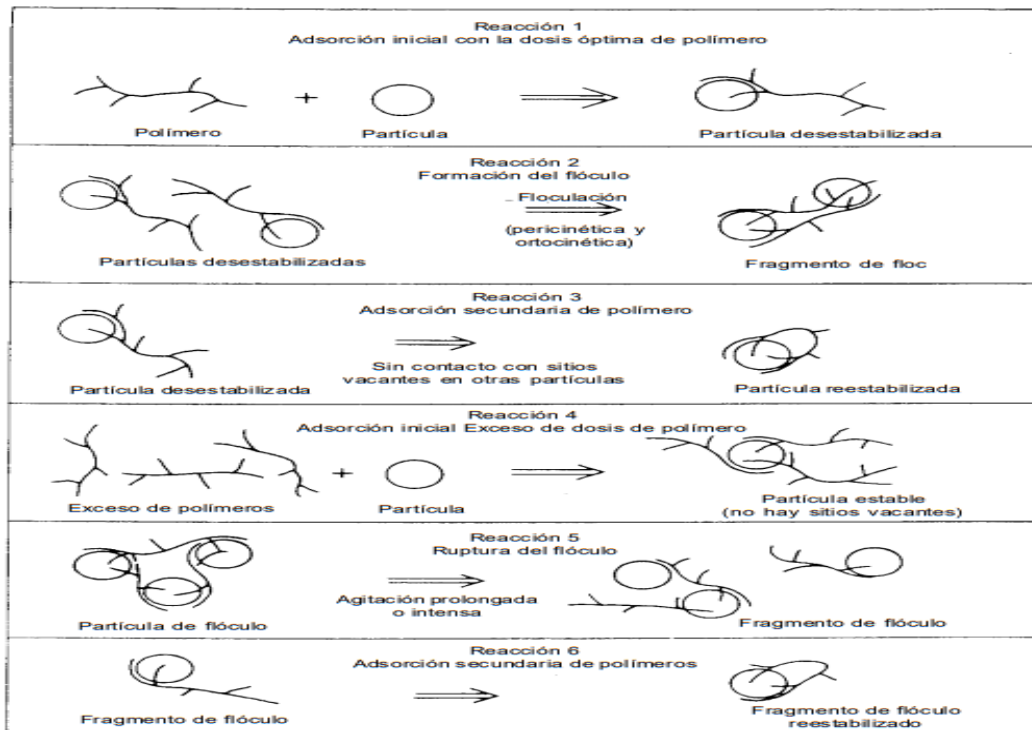


Figura 3

Modelo de Puentes en la Desestabilización de Coloides Mediante Polímeros



Nota. Fuente: Romero, 2009

5.2.6.2. Factores que Influyen en el Proceso de Coagulación. De acuerdo con Andía (2000), los factores que afectan el proceso de coagulación son los siguientes:

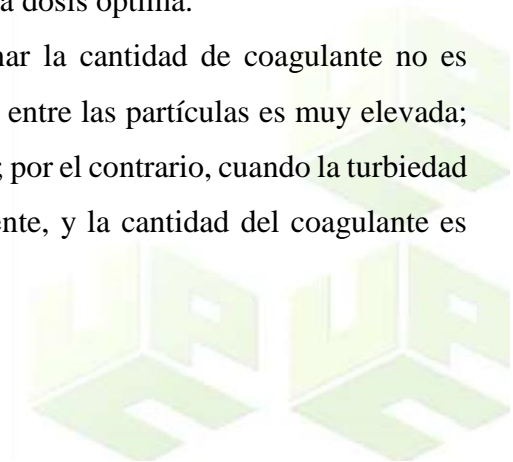
- Dosis de coagulantes: La cantidad de dosis de coagulante tiene influencia directa en la eficiencia de proceso de coagulación de la siguiente manera:

Poca cantidad del coagulante, no neutraliza totalmente la carga de la partícula, la formación de los micro flóculos es muy escaso, por lo tanto, la turbiedad residual es elevada.

Alta cantidad de coagulante produce la inversión de la carga de la partícula, conduce a la formación de gran cantidad de micro flóculos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación muy bajas, por lo tanto, la turbiedad residual es igualmente elevada.

La selección del coagulante y la cantidad óptima de aplicación; se determina mediante los ensayos de pruebas de jarra.

- pH: se debe ajustar al rango óptimo de pH, al punto isoeléctrico. El rango de pH es función del tipo de coagulante a ser utilizado y de la naturaleza del agua a tratar; si la coagulación se realiza fuera del rango de pH óptimo entonces se debe aumentar la cantidad del coagulante; por lo tanto, la dosis requerida es alta. Para sales de aluminio el rango de pH para la coagulación es de 6.5 a 8.0 y para las sales de hierro, el rango de pH óptimo es de 5.5 a 8.5 unidades.
- Concentración de coloides o turbiedad:
 - Para cada turbiedad existe una cantidad de coagulante, con el que se obtiene la turbiedad residual más baja, que corresponde a la dosis óptima.
 - Cuando la turbiedad aumenta se debe adicionar la cantidad de coagulante no es mucho debido a que la probabilidad de colisión entre las partículas es muy elevada; por lo que la coagulación se realiza con facilidad; por el contrario, cuando la turbiedad es baja la coagulación se realiza muy difícilmente, y la cantidad del coagulante es igual o mayor que si la turbiedad fuese alta.



-Cuando la turbiedad es muy alta, conviene realizar una pre sedimentación natural o forzada, en este caso con el empleo de un polímero aniónico. (En la Planta de la Atarjea, se realiza este último, en época de alta turbiedad).

-Es siempre más fácil coagular las aguas de baja turbiedad y aquellas contaminadas por desagües domésticos industriales, porque requieren mayor cantidad de coagulante que los no contaminados.

- Intensidad de la mezcla rápida y gradiente de velocidad de la mezcla lenta: El grado de agitación que se da a la masa de agua durante la adición del coagulante, determina si la coagulación es completa; turbulencias desiguales hacen que cierta porción de agua tenga mayor concentración de coagulantes y la otra parte tenga poco o casi nada; la agitación debe ser uniforme e intensa en toda la masa de agua, para asegurar que la mezcla entre el agua y el coagulante haya sido bien hecho y que se haya producido la reacción química de neutralización de cargas correspondiente; En el transcurso de la coagulación y floculación, se procede a la mezcla de productos químicos en dos etapas. En la primera etapa, la mezcla es enérgica y de corta duración (60 seg., máx.) llamado mezcla rápida; esta mezcla tiene por objeto dispersar la totalidad del coagulante dentro del volumen del agua a tratar, y en la segunda etapa la mezcla es lenta y tiene por objeto desarrollar los micro flóculos, el tiempo de retención suele estar comprendido entre 10 a 30 minutos.
- Temperatura del agua: La variación de 1°C en la temperatura del agua conduce a la formación de corrientes de densidad (variación de la densidad del agua) de diferentes grados que afectan a la energía cinética de las partículas en suspensión, por lo que la coagulación se hace más lenta; temperaturas muy elevadas desfavorecen igualmente a la coagulación. Una disminución de la temperatura del agua en una unidad de

decantación conlleva a un aumento de su viscosidad; esto explica las dificultades de la sedimentación de un floc.

- Influencia de las Sales Disueltas: Las sales contenidas dentro del agua ejercen las influencias siguientes sobre la coagulación y floculación:
 - Modificación del rango de pH óptimo.
 - Modificación del tiempo requerido para la floculación.
 - Modificación de la cantidad de coagulantes requeridos.
 - Modificación de la cantidad residual del coagulante dentro del efluente.
- Movilidad electroforética de las partículas.
- Color o concentración de sustancias orgánicas en el agua.
- Aniones o cationes presentes en el agua.

Los primeros tres factores se relacionan fuertemente. La dosis que se aplique depende del pH terminal del agua y de la concentración de coloides.

5.2.6.3.Etapas o Fases de la Coagulación. Según Andía (2000), el proceso de coagulación se desarrolla en un tiempo muy corto (casi instantáneo), en el que se presenta las siguientes etapas:

- Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas en suspensión.
- Formación de Compuestos químicos poliméricos.
- Adsorción de cadenas poliméricas por los coloides.
- Adsorción mutua de coloides.
- Formación del flóc
- Acción de barrido.



5.2.6.4. Ensayo de Jarras. De acuerdo con Romero (2006), el ensayo de jarras es importante en el proceso de coagulación de aguas, se realiza, entre otros, con los siguientes propósitos:

- Determinación de pH óptimo
- Evaluación de dosis óptima
- Determinación de los niveles óptimos de mezcla, gradientes de velocidad y tiempos de mezcla
- Selección del tipo de coagulación más efectivo

5.2.7. Coagulantes.

Según Arboleda (2000), los coagulantes se pueden clasificar como poli electrolitos o ayudantes de coagulación y coagulantes metálicos.

5.2.7.1. Coagulantes poliméricos (polielectrolitos). “Un polímero se define como una sustancia formada por una cantidad de unidades básicas, llamadas monómeros, unidas por enlaces covalentes que se repiten sucesivamente. Su grado de polimerización está dado por el número de monómeros que conforman su cadena”.



Los polielectrolitos que son relevantes en el tratamiento de aguas pueden clasificarse de acuerdo a la Tabla 3 de la siguiente manera:

Tabla 3

Clasificación de polielectrolitos

Según su origen	Según su carga
Polímeros naturales	Iónicos Cationicos aniónicos
Polímeros sintéticos	No iónicos

Nota. Fuente Arboleda 2000





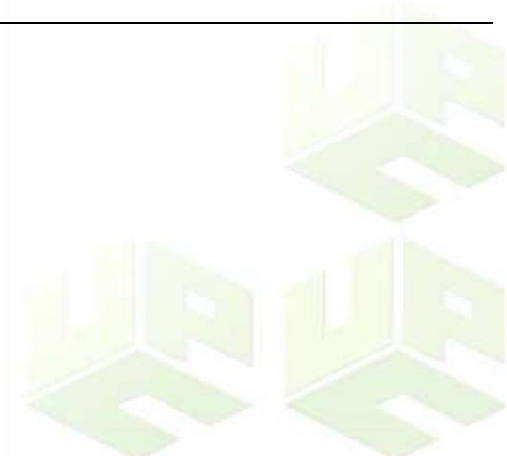
5.2.7.1.1. Polímeros Naturales. Son los que se producen en las reacciones bioquímicas naturales De animales y plantas tales como proteínas, carbohidratos y polisacáridos (almidón, glucósidos)” (Arboleda, 2000). como se aprecia en la Tabla 4.

Tabla 4

Nombre común	Se extrae de	Parte de la cual se extrae
Alginato de sodio	Algas pardas marinas (Phaeovhiceae)	Toda la planta
Tuna	Opuntia ficus indica	hojas
Almidones	Maíz, papa, yuca, trigo	Grano o tubérculo
Semillas de nirmali	Strychnos ootatorun	Semillas
Algarrobo	Quebracho, acacia o algarrobo Schinopsis Lorentzii	Corteza del árbol
Gelatina común	Animales	Residuos animales, huesos
Carboximetil celulosa	Arboles	Corteza de árbol
Goma de guar	Cyanoosis osoralioides	semillas

Polímeros naturales con propiedades coagulantes

Nota. Fuente Arboleda, 2000



5.2.7.2. Coagulantes metálicos. Existe una variedad de coagulantes metálicos como se puede apreciar en la Tabla 5, los podemos clasificar en tres tipos: sales de aluminio, sales de hierro y compuestos varios. Dentro de los más utilizados tenemos

Tabla 5

Coagulantes metálicos

Compuestos de aluminio	
Sulfato de aluminio	$Al_2SO_4 \cdot 14H_2O$
Aluminato de sodio	$NaAlO_2$
Alumbre de potasio	$Al_2(SO_4)_3 \cdot K_2SO_4 \cdot 24H_2O$
Alumbre de amonio	$Al_2(SO_4)_3 \cdot (NH_4)_2SO_4 \cdot 24H_2O$
Policloruro de aluminio	$Al_2(OH)_nCl_{6-n}$
Compuestos de hierro	
Cloruro férrico	$FeCl_3$
Sulfato férrico	$Fe(SO_4)_3$
Sulfato ferroso	$Fe(SO_4)_7H_2O$
Otros	
Carbonato de magnesio	$MgCO_3$

Nota. Fuente calderón y col.,2018



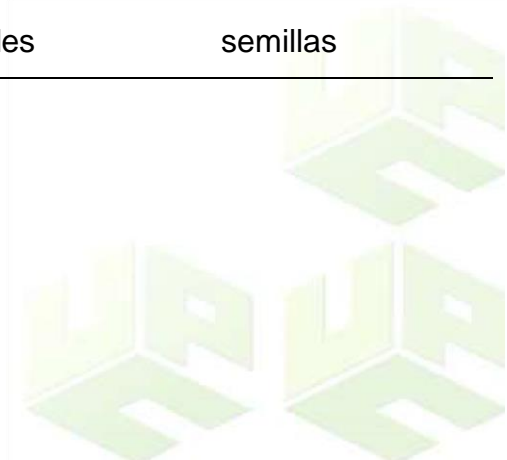
5.2.7.2.1. Polímeros naturales: tales son los que se producen en las reacciones bioquímicas naturales de animales y plantas, tales como proteínas, carbohidratos y polisacáridos (almidón, glucósidos)” (Arboleda, 2000). como se aprecia en la Tabla 5.

Tabla 3

Polímeros naturales con propiedades coagulantes

Nombre común	Se extrae de	Parte de la cual se extrae
Alginato de sodio	Algas pardas marinas (Phaeovhiceae)	Toda la planta
Tuna	Opuntia ficus indica	hojas
Almidones	Maíz, papa, yuca, trigo	Grano o tubérculo
Semillas de nirmali	Strychnos ootatorun	Semillas
Algarrobo	Quebracho, acacia o algarrobo Schinopsis Lorentzii	Corteza del árbol
Gelatina común	Animales	Residuos animales, huesos
Carboximetil celulosa	Arboles	Corteza de árbol
Goma de guar	Cyanoosis osoralioides	semillas

Nota. Fuente Arboleda, 2000



5.2.7.2.2. Quitina. El nombre sistemático de la quitina es β (1-4)-2-acetamido-2-desoxi-D glucosa. Se encuentra principalmente en las conchas de crustáceos y formando parte del exoesqueleto de los insectos, así como también en las paredes celulares de muchos hongos, levaduras y algas. La Quitina es completamente insoluble en agua o en medio ácido. El Quitosano es también un polisacárido que se encuentra en estado natural en las paredes celulares de algunos hongos; sin embargo, su principal fuente de producción es la hidrólisis de la quitina en medio alcalino, usualmente hidróxido de sodio o de potasio, a altas temperaturas (Lárez, 2006).

5.2.8. Quitosano.

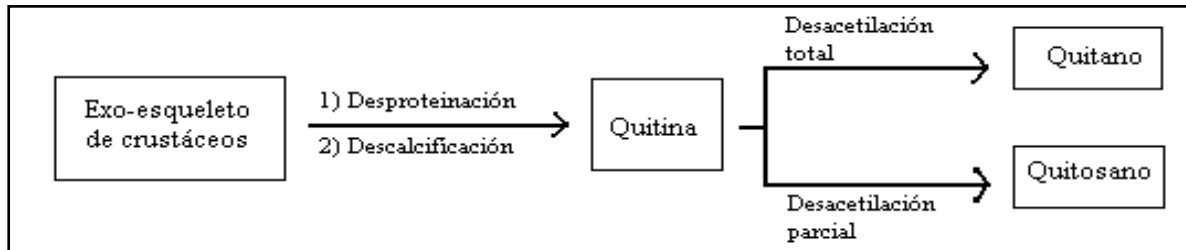
El Quitosano es un polisacárido de alto peso molecular que se obtiene fundamentalmente mediante des acetilación de la quitina (N-acetilglucosamina), insoluble en agua, pero soluble en soluciones ácidas, comportándose en este medio como un polielectrolito catiónico (Ríos y col., 2006).

Es un biopolímero natural de amplia distribución en la naturaleza, presente en los exoesqueletos de artrópodos, zooplancton marino, formando parte de la pared celular de algunas familias de hongos y levaduras, así como en las alas y cutículas de algunas especies de insectos (Cartaya y col., 2009). Por su parte, Renault y col. (2009) define el Quitosano como un polímero parcialmente des acetilado obtenido de la des acetilación alcalina de la quitina, un biopolímero extraído de las fuentes de mariscos. En la Figura 4 se aprecia los pasos elementales en la obtención del Quitosano:



Figura 4

Esquema Elemental de la Producción de los Derivados de la Quitina



Nota. Fuente Lárez, 2006

5.2.8.1. Características del Quitosano. Las características que hacen del Quitosano un amplio objeto de estudio es su alta hidrofiliidad, densidad de carga catiónica, biodegradabilidad, biocompatibilidad, cadenas largas de polímeros, contiene propiedades como bacteriostático y fungistático y una notable afinidad para muchas proteínas, Por lo tanto, es utilizado en la eliminación de proteínas, se pueden reemplazar los coagulantes convencionales como las sales de aluminio y polímeros químicos por Quitosano, en vista de que se evitaría problemas de contaminación al medio ambiente y afecciones a la salud humana ocasionada por coagulantes químicos (Bravo, 2017).

Según las investigaciones, este es un compuesto catiónico utilizado como agente coagulante y floculante en el tratamiento de aguas residuales contaminadas con materia orgánica y eliminación de materiales proteicos presentes en la industria de alimentos (Bravo, 2017).

El pKa del grupo amino de los residuos de glucosamina es de aproximadamente 6,3 y, en medio ácido (por debajo pH 5), el Quitosano se convierte en un polímero soluble en soluciones catiónicas con alta densidad de carga. Por lo tanto, el tratamiento de Quitosano

con ácidos produce grupos amino protonados, lo que facilita la interacción electrostática entre las cadenas del polímero y los contaminantes de carga negativa (aniones metálicos, colorantes, compuestos orgánicos, etc.) Sin embargo, su solubilidad depende de varios parámetros, tales como la distribución de los grupos acetyl a lo largo de la cadena macromolecular, el tipo y la concentración del ácido utilizado para disolver el polímero, la concentración de polímero, y la fuerza iónica (Renault y col., 2009).

5.2.8.2. Tratamiento de Aguas Residuales con Aplicación de Quitosano. El Quitosano posee muchas características que lo hacen un coagulante efectivo. Se ha empleado en el tratamiento de aguas residuales como agente floculante, agente coagulante, tratamientos de flotación para la remoción de aceite de pescado en agua, agentes filtrantes para piscinas y spas, remoción de metales, remoción de surfactantes, etc. (Lárez, 2006).

5.2.8.3. Ventajas del Quitosano. Los coagulantes naturales son seguros, respetuoso del medio ambiente, en general libre de tóxicos y biodegradables, además, generan un volumen mucho más pequeño de lodos. En contraste, de los coagulantes químicos como sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$, tricloruro de hierro $FeCl_3$, o poliacrilamidas sintéticas, los cuales según estudios presentan impactos negativos en la salud, se les vincula con enfermedades como Alzheimer y cáncer además, en el tratamiento de aguas con coagulantes convencionales se producen grandes cantidades de sedimentos, reacción con la alcalinidad del agua, baja eficiencia de coagulación en aguas frías y requiere un control estricto de la concentración de iones (Renault y col., 2009).



5.3. MARCO CONCEPTUAL.

Adsorción: Es un fenómeno de acumulación de partículas como iones, moléculas, que se encuentran en una determinada fase, por la superficie de un sólido o líquidos. (Pérez y col, 2015).

Análisis físico-químico del agua: Son aquellos procedimientos de laboratorio que se efectúan a una muestra de agua para evaluar sus características físicas, químicas o ambas. (Ministerio de vivienda, ciudad y territorio., 2013, título C RAS).

Biodegradable: Que puede ser descompuesto bajo ciertas condiciones ambientales, (por ejemplo, biodegradable implica la acción de microorganismos, fotodegradable: implica la acción de la luz).

Biopolímeros: Un polímero biodegradable es aquel que puede ser degradado completamente por el medio ambiente, reduciendo así el impacto ambiental que estos materiales producen. (Mercado y col., 2012).

Coagulantes: Sustancias químicas que inducen el aglutinamiento de las partículas muy finas, ocasionando la formación de partículas más grandes y pesadas. (Díaz, 2014).

Coagulante natural: Sustancia natural que hace parte del tratamiento de potabilización del agua. (Díaz, 2014).

Coloides: Son suspensiones estables, por lo que es imposible su sedimentación natural, son sustancias responsables de la turbiedad y del color del agua. Los sistemas coloidales presentan una superficie de contacto inmensa entre la fase sólida y la fase líquida. (Romero, 2009).

Des acetilación: Consiste en la eliminación de un grupo acetilo. Este proceso de transferencia del grupo acetilo (que resulta en un grupo acetoxi) a un compuesto, para ser específico, debe implicar la sustitución del grupo acetilo por un átomo de hidrógeno. (Lárez, 2006).

Dosis óptima: Concentración que produce la mayor eficiencia de reacción remoción en un proceso químico. (Ministerio de vivienda, ciudad y territorio., 2013, título C RAS).

Eficiencia de tratamiento: Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración en el afluente, para un proceso o planta de tratamiento y un parámetro específico; normalmente se expresa en porcentaje.

Ensayo de jarras: Prueba de laboratorios que simula las condiciones en que se realiza los procesos de oxidación química, coagulación, floculación y sedimentación en la planta, con diferentes dosis químicas, mezcla a velocidad, tiempo de asentamiento, para estimar el mínimo o la dosis ideal de coagulante requerida para alcanzar los objetivos de calidad en un agua. (Ministerio de vivienda, ciudad y territorio., 2013, título C RAS).

Exoesqueleto: Es el esqueleto externo continuo que recubre toda la superficie de los animales del filo artrópodos (arácnidos, insectos, crustáceos, miriápodos y otros grupos relacionados) (Lárez, 2006).

Floculación: Aglutinamiento de las partículas desestabilizadas y macropartículas inducidas por una agitación lenta de la suspensión coagulada. (Arboleda, 2000).

Floculantes orgánicos naturales: Son polímeros naturales extraídos de sustancias animales o vegetales. (Andía, 2000).

Grasas y aceite: Sustancia de origen vegetal o animal. Pueden ser líquidos o sólidos. (Mercado y col., 2012).

Mezcla rápida: Agitación violenta para producir dispersión instantánea de un producto químico en la masa de agua. (Romero, 2009).

Muestra puntual: Muestra de agua residual tomada al azar en un momento determinado para su análisis. Algunos parámetros deben determinarse in situ y otros en el laboratorio.

Parámetro: Una variable, propiedad medible cuyo valor está determinado por la característica del sistema, en una familia de elementos, sirve para identificar cada uno de ellos mediante su valor numérico en el caso del agua, por ejemplo: estas pueden ser la temperatura, la presión, la densidad, etc. (Mercado y col., 2012).

Polielectrolitos: Son compuestos cuyos componentes tienen tendencia a separarse cuando sus iones entran en contacto con el agua, positivo por un lado y negativo por otro. (Mercado y col., 2012).

Quitosano (Qo): Polímero de alto peso molecular con grupos amino e hidroxilo reactivos, que por debajo de pH 6,5 presenta una alta densidad de carga, se adhiere fácilmente a las superficies negativamente cargadas y puede formar quelatos con iones metálicos. (Lárez, 2006).

Sedimentación: Asentamiento de partículas sólidas en un sistema líquido debido a la gravedad. (Oliva y col., 2008).

Vertimiento: Descarga final a un cuerpo de agua, a un alcantarillado o al suelo, de elementos, sustancias o compuestos contenidos en un medio líquido.



5.4. MARCO CONTEXTUAL.

5.4.1. Localización.

Valledupar es la capital del Departamento del Cesar en Colombia , cuenta con 204 barrios, 15 asentamientos, 25 corregimientos y 102 veredas, con una extensión de 4.192 Km² (el 18% de la extensión del departamento) de los cuales el 40% corresponden a área de protección forestal según la Ley 2a de 1959.

El perímetro urbano abarca 50.5 Km² y está dividido en seis comunas. Además de limitar al norte con el departamento de La Guajira, Valledupar es la capital del Área Metropolitana del Valle del Cacique Upar, conocida actualmente como MetropoliUpar, que agrupa en un mismo proyecto de desarrollo a los municipios de Valledupar, La Paz (Los Robles), Manaure Balcón del Cesar, San Diego y Agustín Codazzi fundada por los conquistadores españoles el 6 de enero de 1550 y dominada por los pueblos indígenas de Arhuacos, Kogüi, Kankuamos, Wiwa y Yukpa.

Valledupar cuenta con todos los pisos térmicos, desde los picos nevados de la Sierra Nevada de Santa Marta y las alturas de la Serranía del Perijá hasta el fértil Valle bañado principalmente por los ríos Guatapurí, Badillo y Cesar. Alcaldía de Valledupar, (2016).





**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



En la Figura 5 se logra apreciar la localización geográfica de Colombia, en la cual se encuentra el municipio de Valledupar, capital del departamento del Cesar.

Figura 5

Localización Geográfica de Colombia



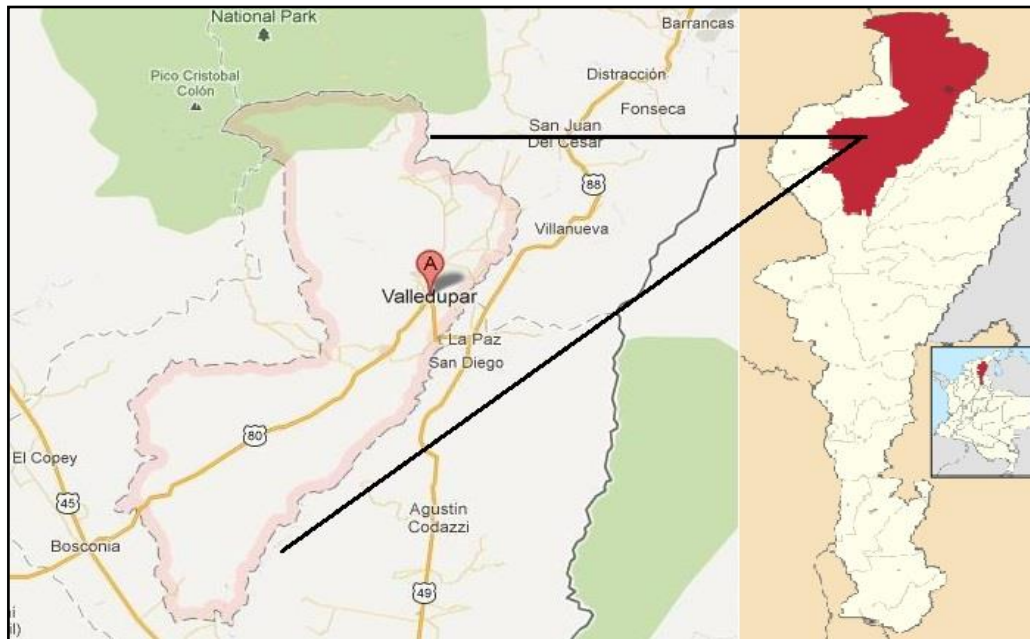
Nota. Fuente: Tomada a partir de Google Earth, 2020



En la Figura 6 se logra apreciar la localización geográfica del municipio de Valledupar en el departamento del Cesar, en el cual se encuentra ubicada la empresa Lácteos del Cesar Klaren's.

Figura 6

Localización Geográfica del Municipio de Valledupar en el Departamento del Cesar



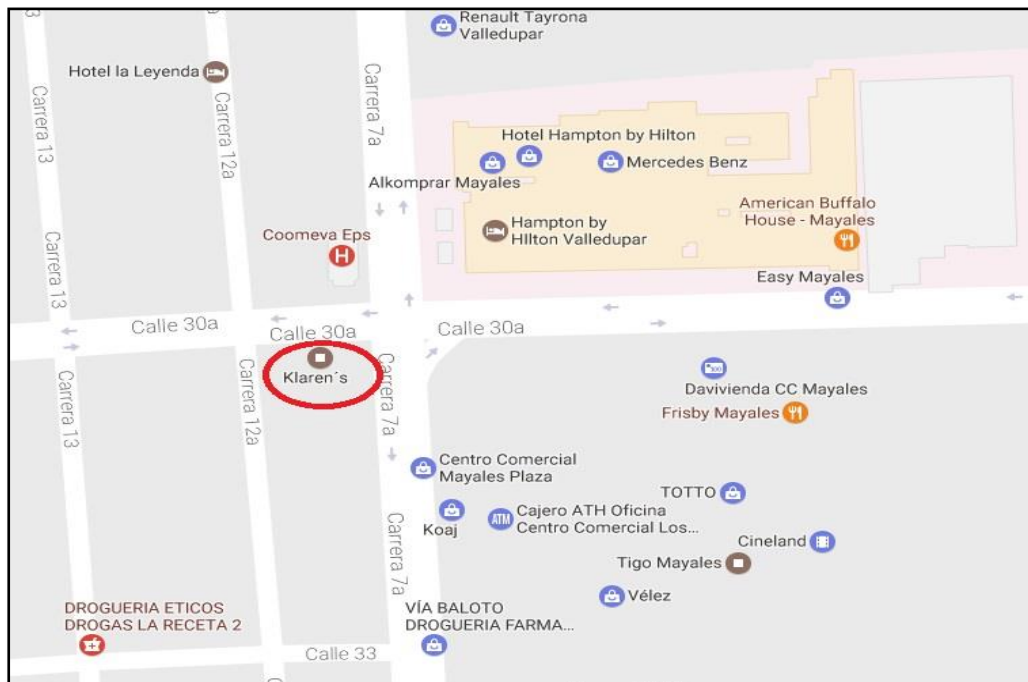
Nota. Fuente Tomada a partir de Google Earth, 2020



En la Figura 7 se logra apreciar la dirección de la empresa Lácteos del Cesar Klaren's, ubicada en la carrera 7ª número 30ª-04 en el municipio de Valledupar, en la cual, se tomaron las muestras de agua residual generadas en los procesos de producción de la empresa, para evaluar la eficiencia del Quitosano como coagulante natural en el tratamiento de estas aguas.

Figura 7

Localización Geográfica de la Empresa Lácteos del Cesar (klaren's)



Nota. Fuente Tomada a partir de Google Earth, 2020



5.4.2. Reseña histórica.

La historia de Klaren´s nace en 1984 por iniciativa del Manizaleño Manuel Gutiérrez Murillo, piloto de aviación, quien apasionado por los productos lácteos deja a un lado su profesión para hacer realidad el sueño de tener su propia fábrica procesadora de leche, sin imaginarse que era una necesidad latente en el mercado de Valledupar.

Con una producción de tan solo 500 Litros diarios de leche pasteurizada homogenizada, klaren´s comienza a abastecer el mercado urbano, el cuál aceptó masivamente su producto y estimuló así el crecimiento y desarrollo de otros derivados lácteos. Poco a poco fue ganando un merecido espacio hasta lograr la reputación de la que goza hoy en día, y que le ha permitido incursionar en los más exigentes mercados nacionales.

Klaren´s presentaba opciones variables de consumo con Yogurt en diferentes sabores, Quesos frescos, Quesos semi madurados, Gelatinas y suero (sour cream), este último elaborado técnicamente y pasteurizado, que la llevó al calificativo de embajadora Vallenato en el interior del país.

En el año 1990 ingreso al mercado Bogotano con su producto el suero, y a la fecha ya está con todo su catálogo de productos satisfaciendo a sus clientes.

En 1992 Klaren´s inaugura su sede propia en Barranquilla, una nueva bodega equipada con cuarto frio, oficinas y red de sistemas, e inicia la remodelación y mejoramiento como primera etapa de la ampliación del área de producción, recepción de leche, áreas y equipos de servicios (energía, vapor, agua helada, aire comprimido), cuartos fríos y área de despachos.

En el año 2007, Klaren´s pasa de ser Compañía Limitada a Sociedad Anónima, facilitando la entrada de inversionistas nacionales y extranjeros para posteriormente lanzar al mercado la leche entera ultra pasteurizada larga vida marca klaren´s y estar a la vanguardia de lo último en tecnología lanzando al mercado leche semidescremada deslactosada.

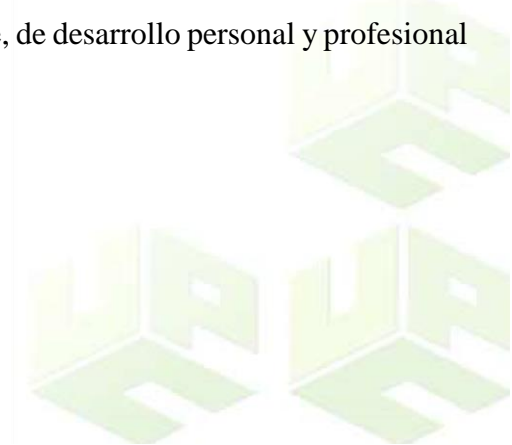
En el año 2011 siguió con el plan de expansión de la empresa abriendo otro distrito de ventas en Aguachica en el sur del Cesar.

Para el año 2012, pensando en el bienestar de su sociedad más necesitada pone a disposición la nueva bebida alimenticia UHT larga vida a base de leche entera marca Campoadela desarrollada con los últimos avances en tecnología, y muy nutritiva.

En el año 2013 lanza al mercado el refresco de agua marca citrus, sabor naranja y la proyección para ofrecer al mercado leche entera saborizada UHT en sabores arequipe, chocolate, fresa, vainilla y avena para satisfacción de los niños.

Hace ya 34 años que por iniciativa privada se dio inicio a esta empresa que hoy día es símbolo de calidad y orgullo de los vallenatos, pues gracias a su empuje y dedicación por el mejoramiento continuo, se ha ganado el calificativo de embajadora Vallenata, en los mercados del interior del país y más específicamente por la calidad de su suero, este último con la ventaja de ser el único suero "sour cream" elaborado técnicamente, pasteurizado y con cultivos lácticos específicos adicionados.

Su compromiso con Valledupar, que inicialmente fue la de garantizar el oportuno y adecuado suministro de leche pasteurizada, se ha convertido hoy en día mucho más, es el símbolo de la calidad Vallenata, es el símbolo del empuje de su gente, es la búsqueda del mejoramiento, es sinónimo de productos naturales y buena nutrición, de garantía y cumplimiento, fuente generadora de empleo permanente, de desarrollo personal y profesional de sus empleados y beneficio social para Valledupar.



5.5. MARCO LEGAL.

Entre las normas colombianas reguladoras del medio ambiente, se encuentran resoluciones, decretos y leyes que hacen referencias a las aguas residuales, a continuación, se mencionaran algunas de ellas:

Tabla 4

Normatividad colombiana relacionada con el recurso agua

NORMATIVIDAD DEL AGUA			
Constitución	Derechos Colectivos	Capitulo III	Art 79,80
Política Nacional	y del Ambiente.		
1991			
Ley 99 de 1993	Organiza el SINA y crea el Ministerio del Medio Ambiente.	Titulo VI	Art 31,66
Decreto 2811 de 1974	Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.	Título I, II, VI, VIII	Art:77,132,133,134,135, 145,155
Decreto 1594 de 1984	Uso del agua y vertimientos.	Capitulo IV, VI	Art: 42,72,73
Decreto 3930 de 2010	Usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.	Capítulo I, III, IV, V, VI, VII	Art:1,2,7,16,23,24,25,28, 31,34,41,42

NORMATIVIDAD DEL AGUA

Decreto 1449 de 1977	Conservación de los recursos naturales renovables.	Art: 2,6,9
Decreto 3100 de 2003	Tasas retributivas.	
Resolución 240 de 2004	Establece tarifa mínima para las tasas por utilización de agua.	
Resolución 0631 de 2015	Establece los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.	

Nota. Fuente Min Ambiente y Decreto Único 1076, Adaptada por autor, 2020





5.6. MARCO INSTITUCIONAL.

Lácteos Del Cesar S.A (KLAREN´S), es una empresa dedicada la fabricación y comercialización de productos lácteos, ubicada en el municipio de Valledupar en el departamento del César, con más de 34 años satisfaciendo las necesidades y exigencia del mercado.

Las personas que componen la compañía son pocas ya que es una empresa pequeña que apenas se está desarrollando y creciendo en el mercado. Sus recursos humanos en la mayoría son empíricos con gran conocimiento en las funciones que desempeñan. Su parte de logística resulta ser sencilla ya que es una empresa pequeña, no presenta problemas de represamiento u otras por el estilo. Actualmente las personas se encuentran capacitándose y profesionalizándose, punto que es muy positivo para la empresa (Valencia y col., 2018).

5.6.1. Misión.

Lácteos del cesar S.A a través de su marca KLAREN´S busca satisfacer las necesidades alimenticias de sus clientes para ellos nos soportamos en la experiencia y profesionalismo en nuestro equipo de trabajo.

5.6.2. Visión.

Ser reconocidos a nivel nacional como una empresa líder en la comercialización y producción utilizando la mejor tecnología disponible proporcionando el desarrollo y bienestar de nuestros colaboradores con responsabilidad frente a nuestros accionistas la sociedad y el estado.

5.6.3. Valores Corporativos.

La empresa Lácteos del Cesar S.A (KLAREN´S), y sus trabajadores, se caracterizan por cumplir valores como:

- La Responsabilidad
- El Respeto
- La confianza
- El liderazgo
- La innovación
- El Compañerismo
- Trabajo en equipo

5.6.4. Logotipo.

Por medio de este, la empresa Lácteos del Cesar S.A (KLAREN´S) es y ha sido identificado a través del tiempo, de tal forma que los receptores asocian a la empresa los productos que ofrece, en la Figura 8 se logra apreciar el logotipo por el cual, la empresa Lácteos del Cesar muestra al mundo la identidad de su marca.

Figura 8

Logotipo de la empresa Lácteos del Cesar (KLAREN´S)



Nota. Fuente: Lácteos del Cesar S.A. 2021



5.6.5. Organigrama.

En la empresa, se ha generado una serie de funciones de acuerdo con los cargos estipulados dentro de la empresa y se clasifican de acuerdo a la figura 8.

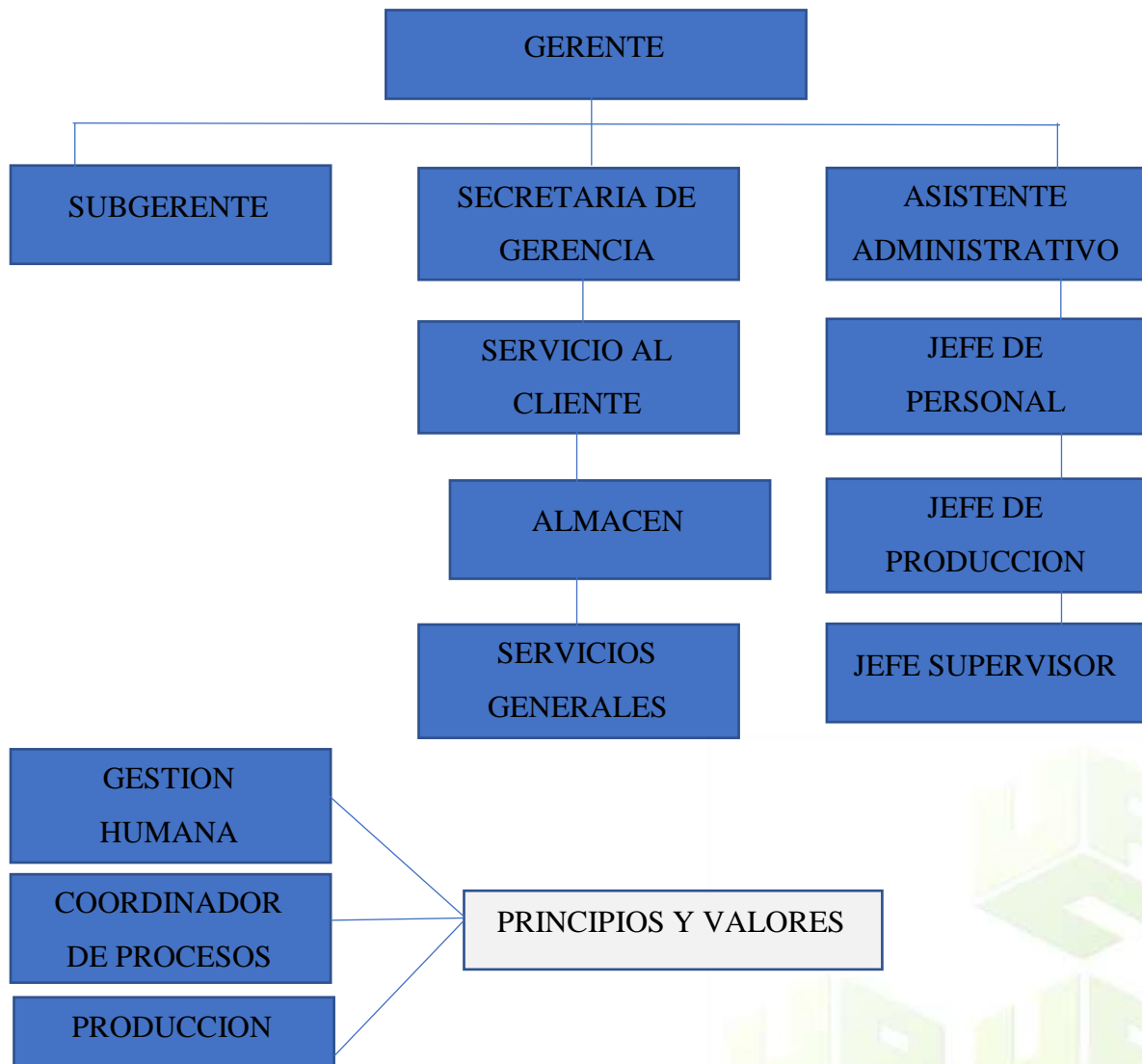
El liderazgo en la empresa es ejercido por el gerente, quien está atento a todas las funciones que realizan los empleados y que acaten las órdenes impartidas por él, quien a su vez hace los llamados de atención necesario en caso de no cumplirse sus órdenes. De igual forma tiene la autoridad dentro de la empresa para delegar funciones entre los empleados.

Cabe resaltar que los empleados de la empresa están comprometidos con el proceso productivo y de calidad y cada uno realiza su aporte para alcanzar las metas propuestas, cumpliendo con sus jornadas laborales en los tiempos indicados y cada uno cumple una función importante dentro de la misma.



Figura 9

Estructura organizacional de KLAREN'S



Nota. Fuente: Autores, 2020



6. MARCO METODOLÓGICO.

6.1. LÍNEA Y SUB LÍNEA DE INVESTIGACIÓN.

Este proyecto se incluye en la línea de investigación Sostenibilidad y Gestión Ambiental adscrita al programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la facultad de Ingenierías y tecnologías, del mismo modo se ubica en la sub línea de investigación Gestión del Recurso Hídrico.

6.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN.

Para este proyecto, la investigación posee un enfoque explicativo. Las investigaciones explicativas son más estructuradas que los estudios con los demás alcances y, de hecho, implican los propósitos de éstos (exploración, descripción y correlación o asociación); además de que proporcionan un sentido de entendimiento del fenómeno a que hacen referencia.

6.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN.

Esta investigación es de tipo explicativa con un nivel de investigación experimental, cuyo propósito es evaluar la eficiencia del coagulante natural en el tratamiento de aguas de la industria láctea. Del mismo modo los diseños experimentales se utilizan cuando el investigador pretende establecer el posible efecto de una causa que se manipula. Pero, para establecer influencias, En un experimento, la variable independiente resulta de interés para el investigador, ya que hipotéticamente será una de las causas que producen el efecto supuesto. Para obtener evidencia de esta supuesta relación causal, el investigador manipula la variable independiente y observa si la dependiente varía o no.



6.4. POBLACIÓN DE ESTUDIO.

La población objeto de estudio son las aguas residuales asociadas a la elaboración de productos lácteos, generadas en la empresa Lácteos del Cesar S.A. ubicado en la carrera 12ª, entre la calle 30ª y la calle 33 en Valledupar.

6.5. MUESTRA POBLACIONAL.

Las muestras corresponden, a las aguas residuales, que son el resultado de procesos en esta industria, a las cuales se les analizaran los parámetros de pH, Turbidez, SSV, SST, DQO, Aceites y Grasas, Usando el método de muestreo manual simple se tomó la cantidad de agua requerida en el punto de muestreo (anexo fotográfico), según lo establecido en los métodos estándar de la Asociación Estadounidense de Salud Pública, APHA., y col. (1998)

6.6. DISEÑO EXPERIMENTAL.

Este trabajo se realizó utilizando un diseño experimental completamente al azar, debido a que en el experimento hay tres tratamientos correspondientes a las aguas residuales lácticas con diferente pH (4,5,6), y en cada tratamiento hay tres repeticiones, trabajando a temperatura ambiente $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y dosis de Q_0 . A partir de los datos obtenidos se realizó un estudio de medias, desviación estándar para que a partir de estos realizar el análisis de varianza con soporte en la prueba de Tukey (Montgomery 2006).

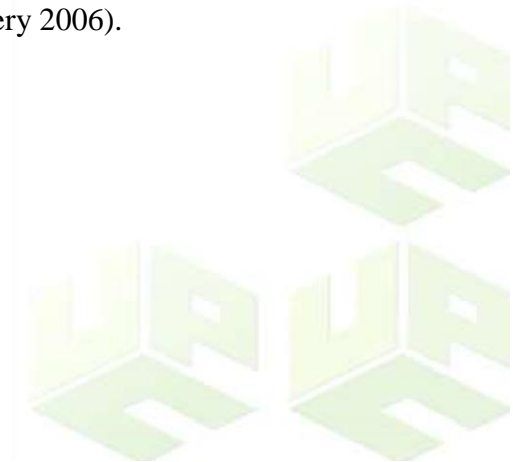


Tabla 5

Variables dependientes e independientes

	variable	definición	unidad
Dependientes	pH	Nivel de acidez o alcalinidad	unidad pH
	Turbidez	Grado de transparencia aparente del agua	NTU
Independientes	Velocidad de agitación	Velocidad de los reactores de agitación durante el final de la prueba	rpm
	Tiempo	Magnitud física que mide la duración o separación de acontecimientos	m

Nota. Fuente: Autores, 2020





6.7. DESARROLLO METODOLÓGICO.

La metodología utilizada para el desarrollo de la investigación, se ejecutó en forma sucesiva acorde a la manera en que se encuentran establecidos los objetivos planteados. Por consiguiente, se manifiestan las etapas realizadas.

Etapas 1: Caracterizar fisicoquímicamente (antes de la aplicación del coagulante) las muestras de aguas residuales generadas por la industria láctea (Klaren's), mediante pruebas de pH, Turbidez, SSV, SST, DQO, Aceites y Grasas, estas actividades se realizaron de acuerdo a los métodos estándar de la Asociación Estadounidense de Salud Pública (APHA, por sus siglas en inglés), APHA., y col. (1998) sobre pH turbidez, SSV, SST, DQO, aceites y grasas.

Actividad 1.1 Punto de muestreo.

Descripción: se escogió y se georreferenció por medio de GPS el lugar donde se tomaron las muestras de agua residual para realizarle el análisis de los parámetros de estudio.

Actividad 1.2 Toma de muestra.

Descripción: Usando el método de muestreo manual simple se tomó la cantidad de agua requerida en el punto de muestreo, para el análisis de pH turbidez, SSV, SST, DQO, se recolectaron en recipientes plásticos con cierre hermético de 20 L, mientras que los parámetros aceites y grasas (A y G) se emplearon envases de vidrio de 200 ml conservados con ácido clorhídrico según lo establecido en los métodos estándar APHA., y col. (1998), las muestras se trasladaron al laboratorio y se refrigeraron a 4°C para su conservación en el laboratorio de ingeniería ambiental y sanitaria de la

Universidad Popular del Cesar. Se analizaron antes y después del tratamiento de coagulación para evaluar la efectividad del Quitosano.

Actividad 1.3. caracterizar las propiedades fisicoquímicas de la muestra de agua residual mediante la realización de prueba de pH, turbidez, SSV, SST, DQO, aceites y grasas.

Descripción: se determinaron parámetros en la muestra de agua como el pH, turbidez, SSV, SST, DQO, A y G, Con el fin de determinar qué tan desviados estaban los valores con respecto a la Resolución 0631 de 2015 en el cual se establecen los parámetros monitoreados y sus valores límites de las aguas residuales no domésticas generados en el sector de la elaboración de productos lácteos, En la tabla 8 se muestran dichos parámetros con sus respectivos valores límite.

Tabla 6

Valores límites permisibles de parámetros físicos-químicos del agua residual no doméstica ARnD procedente de elaboración de productos lácteos

Parámetros	Valores Límite – Res. 0631 de 2015
pH	6.00 – 9.00
Turbidez	NR
SST	150 mg/L
SSV	NR
DQO	450 mg O ₂ /L
A y G	20 mg/L

Nota. Fuente: Resolución 0631 2015, Adaptada por autor, 2020

- pH (4500-H+): El pH se determinó a través del método potenciométrico, usando un pH-metro (Orión Research 611), con electrodo de vidrio, calibrado con soluciones buffers de pH
- 4 y 7. Se midieron 50 ml de muestra en un matraz de 250 ml, se introdujo el electrodo del pH-metro hasta obtener la lectura constante.
- Turbidez (2130B): Para medir la turbidez se tomaron 25 ml de la muestra previa agitación y se llevaron al turbidímetro (Hatch 2100AN), seleccionando el método 750, a una longitud de onda de 450 nm, calibrado con el blanco (agua destilada), arrojando la medida de la turbidez.
- Sólidos Suspendidos Totales y Volátiles (SST y SSV) (2540B y 2540E): Para la determinación de los SST y SSV se empleó el método gravimétrico, usando una balanza analítica Mettler (Toledo A1204), papel de filtro con fibra de vidrio y cápsulas de aluminio. Se filtraron por succión 50 ml de muestra a través papel de filtro previamente pesado en una cápsula de aluminio hasta peso constante (P1), las cápsulas se introdujeron en un horno (Mettmert) con un rango de temperatura de 103 - 105°C durante una hora. Luego se dejaron enfriar en un desecador hasta peso constante (P2). Seguidamente las cápsulas se introdujeron en una mufla (Thermolyne SYBRON 47900 Furnace) a 550°C durante 15 minutos y luego se dejaron enfriar en un desecador hasta peso constante (P3). Las Ecuaciones 1 y 2 permitieron determinar las concentraciones de SST y SSV respectivamente, en las muestras de agua residual.

$$SST \frac{mg}{L} = \frac{(P2-P1) \cdot 10^6}{VM} \text{ Ecuación 1.}$$



$$SSV \frac{mg}{L} = \frac{(P2-P3)*10^6}{VM} \text{ Ecuación 2.}$$

Dónde:

P1: Peso de la cápsula, a temperatura ambiente, (g).

P2: Peso del residuo + cápsula, a 103-105°C, (g).

P3: Peso del residuo + cápsula, a 500°C, (g).

VM: Volumen de Muestra (ml).

- Aceites y Grasas (A y G) (5520-B): Para la determinación de los A y G se utilizó el método gravimétrico. Se agregaron 100 ml de muestra en un balón de separación, luego se adicionó 1 ml de ácido clorhídrico y 15 ml de hexano como solvente. Posteriormente se realizó el proceso de extracción, se repitió la extracción dos veces más, con 10 ml del solvente, recolectando en un vaso de precipitado previamente secado y pesado (P4), previa filtración en papel de filtro conteniendo Na₂SO₄, la fase orgánica. Se dejó evaporar hasta alcanzar peso constante (P5). La Ecuación 3 permitió determinar la concentración de A y G.

$$AyG \frac{mg}{L} = \frac{(P5-P4)*10^6}{VM} \text{ Ecuación 3.}$$

Dónde:

P4: Peso del vaso de precipitado (g).

P5: Peso del vaso de precipitado + muestra (g).

VM: Volumen de Muestra, (ml).

- Demanda Química de Oxígeno (DQO) (5220-C): Para la determinación de la DQO se empleó el método titulométrico. Se prepararon tubos de digestión



agregando 1 ml de solución de Dicromato de Potasio 0,0167 M, 3 ml de ácido Sulfúrico (H₂SO₄) más de Sulfato de Plata (Ag₂SO₄). Luego se adicionaron en cada tubo 2 ml de la muestra, para el control y la muestra de las aguas residuales de la planta de lácteos antes y después del tratamiento, también se preparó un blanco agregando 2 ml de agua destilada. Los tubos fueron colocados en un equipo para digestión (HACH) por reflujo a 150°C durante 2 h. luego se dejaron enfriar y se titularon con FAS 0,10 M adicionando 2 o 3 gotas de Ferroina 0,025 M. El punto final de la titulación fue el cambio de color de azul verdoso a café rojizo. Se registró el volumen gastado en el blanco como VB y el volumen gastado por la muestra como Vm. El valor de Vm fue menor que el de VB.

$$DQO \text{ ppm} = \frac{(VB - VM) * M * 8000}{ml \text{ muestra}} \text{ Ecuación 4.}$$

Dónde:

M: Molaridad exacta del FAS

F: Factor de dilución > 1 si se hizo.



Etapa 2: Establecer la dosis óptima de Quitosano comercial Sigma Chemical Co para realizar análisis al agua tratada de, PH, Turbidez, SSV, SST, DQO, Aceites y Grasas, Estas actividades se realizaron similar al método empleado por Caldera, Y., Clavel, N., Briceño, D., Nava, A., Gutiérrez, E., & Mármol, Z. (2009). Quitosano como coagulante durante el tratamiento de aguas de producción de petróleo. Boletín del Centro de Investigaciones biológicas.

Actividad 2.1. preparación de la solución coagulante de Quitosano comercial Sigma Chemical Co. (Q0).

Descripción: Se pesó con precisión 100 mg de Quitosano comercial Sigma Chemical Co. (Q0) en un vaso de precipitado y se mezcló con 10 ml de solución de HCl 0,1 M y se dejó a un lado durante aproximadamente una hora para que se disolviera, el proceso de disolución fue lento, y una cierta cantidad del Quitosano permaneció en forma de un gel fino, luego se diluyó a 100 ml con agua del grifo. De esta forma se obtuvo una solución de Quitosano al 1%. Como se observó que las soluciones de Quitosano en medio ácido sufren algún cambio en las propiedades durante un período de tiempo, las soluciones se prepararon frescas antes de cada conjunto de experimentos (Divakaran y Pillai, 2002).

Actividad 2.2. Preparación de la solución de Ácido Clorhídrico 0,1 M (HCl).

Descripción: Se necesitó preparar una solución de ácido clorhídrico con el fin de disminuir el pH de la muestra (pH 11) para realizar la investigación y garantizar la efectividad del coagulante Quitosano en cuanto a remoción de los parámetros en estudio.

Se debió determinar la cantidad de ácido clorhídrico (HCl) 0,1 M para bajar el pH de tal forma que este vire en cada una de las jarras en valores entre 4 y 6 unidades.



Para la determinación de dichas cantidades se tituló el agua con (HCl) 0,1 M para encontrar el número de ml requeridos para hacer descender de 1 en 1 unidades el pH del agua residual de la planta de lácteos.

Actividad 2.3 Proceso de coagulación en diferentes concentraciones de Quitosano.

Descripción: La evaluación de la coagulación se realizó mediante pruebas de jarra modelo F6-300 E&Q Equipos, basada bajo el estándar ASTM D2035 – 08. Se realizaron las pruebas establecidas en el diseño experimental de este proyecto de investigación.

Estos ensayos se realizaron mediante el siguiente procedimiento:

se agregó 1 L de la muestra de agua residual de elaboración de productos lácteos de la empresa Klaren's, a 4 de los vasos de precipitado, y se tomó uno de estos como control. Posteriormente, se procedió a agregar el coagulante, al iniciar el mezclado rápido (130 rpm, 1min); se agregaron en tres de los vasos de precipitado las diferentes dosis de coagulante usando una probeta, se aplicó luego al mezclado lento (40 rpm, 20 min), para finalizar con la fase de sedimentación (40 min). Los ensayos se realizaron por triplicado, a una temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Para determinar la concentración óptima se consideró la menor concentración del coagulante que removió el mayor valor de los parámetros de estudio. Las muestras para la determinación de los parámetros de estudios después del tratamiento, se tomaron del sobrenadante de cada jarra en recipientes de vidrio de 200 ml. Para la determinación de A y G se tomó una muestra por cada jarra y se conservó con ácido sulfúrico, mientras que para determinar los parámetros turbidez, pH, DQO, SST, SSV se tomaron otro recipiente de la misma capacidad, ambos fueron conservados a 4°C .

Etapa 3: Determinar la eficiencia del Quitosano comercial Sigma Chemical Co (luego de la aplicación de la dosis óptima) en cuanto a la remoción de los parámetros turbidez, SST, SSV, DQO, Aceites y grasa, en las muestras de agua residual proveniente de la industria láctea (Klaren´s).

Actividad 3.1. Eficiencia del coagulante

Descripción: La eficiencia del proceso se determinó mediante el porcentaje de remoción de turbidez de acuerdo con la ecuación 5:

$$\% \text{ Remocion} = \frac{(T_o - T_f) * 100}{T_o} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

t_o = turbidez inicial

t_f = turbidez final

Actividad 3.2 Comparación del porcentaje de remoción de acuerdo con la normatividad ambiental vigente, para luego determinar las conclusiones.

Descripción: A partir de la tabulación de los análisis antes y después de la aplicación del coagulante, realizados en los laboratorios; se comparó la información con la normatividad que establece los valores máximos permitidos con relación al uso del recurso hídrico, esta se encuentra referenciado en el Decreto 3930 del 2010, Resolución 0631 del 2015 y el Decreto 1594 de 1984 del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible 1076 de 2015 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; esta comparación fue con la siguiente tabla:



Tabla 7

Valores límites permisibles de parámetros físicos-químicos del agua residual no doméstica ARnD procedente de elaboración de productos lácteos

Parámetros	Valores Límite – Res. 0631 de 2015
pH	6.00 – 9.00
Turbidez	NR
SST	150 mg/L
SSV	NR
DQO	450 mg O ₂ /L
A y G	20 mg/L

Nota. Fuente: Resolución 0631 2015, Adaptada por autor, 2020





7. RESULTADOS Y ANALISIS.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en las pruebas fisicoquímicas realizadas de cada uno de los parámetros en estudio y los rangos óptimos utilizados para el coagulante natural Quitosano. Además, la remoción de los parámetros en cada uno de los triplicados realizados y se presentan las características de las aguas residuales de la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s) en función de los parámetros fisicoquímicos evaluados.

Las comparaciones realizadas en el siguiente análisis son con investigaciones directamente relacionadas con el uso de Quitosano en el tratamiento de aguas residuales lácteas, así como también aguas residuales domésticas o industriales y con el tratamiento fisicoquímico de aguas asociadas a la generación de aceites y grasas.

7.1. CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES ASOCIADAS A LA EMPRESA LÁCTEOS DEL CESAR S.A (KLAREN´S)

Las características fisicoquímicas de las aguas residuales asociadas de la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s) se presentan en la Tabla 9, donde se observa una diferencia en los parámetros estudiados. Comparando estos resultados con la normativa ambiental vigente para descargas a cuerpos de aguas superficiales y a sistemas de alcantarillados públicos (Resolución 0631 del 2015).



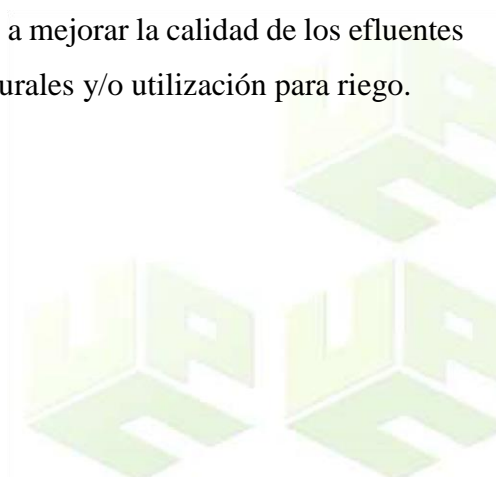
Tabla 8

Resultados caracterización de aguas residuales de la planta de Klaren´s

Parámetros	Valor Obtenido	Valores Límite – Res. 0631 de 2015
pH	11,4	6.00 – 9.00
Turbidez	4518,66	NR
SST	3333.33	150 mg/L
SSV	3133.33	NR
DQO	8000	450 mg O ₂ /L
A y G	1300	20 mg/L

Nota. Fuente: autor 2021

En términos generales se puede observar que los parámetros pH, DQO, A y G, y SST, en comparación con la legislación actual para el agua analizada no cumplen con los límites máximos si se descargasen a cuerpos de agua, esto demuestra que las aguas provenientes de la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s) presentan una enorme concentración de contaminantes como se observa en la caracterización inicial realizada. Estos resultados sustentan la necesidad de evaluar tecnologías destinadas a mejorar la calidad de los efluentes lácticos para su disposición final a cuerpos de aguas naturales y/o utilización para riego.



7.2. RESULTADOS DE LOS TRATAMIENTOS REALIZADOS A LAS AGUAS RESIDUALES ASOCIADAS A LA EMPRESA LÁCTEOS DEL CESAR S.A (KLAREN'S) A DIFERENTES PH.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en las diferentes pruebas realizadas a cada uno de los parámetros estudiados, las cuales aportaron el rango óptimo de la dosis del coagulante en diferentes pH.

Para determinar el rango de mejor comportamiento se realizaron pre-ensayos con diferentes concentraciones de la solución coagulante, a diferentes pH; la dosis óptima se estableció teniendo en cuenta la eficacia en la remoción de las variables más importantes para este tipo de agua en cuanto a vertimiento puntual a cuerpos de agua (A y G, DQO y SST) según la resolución 0631 de 2015.

7.2.1. Eficiencia del Quitosano Durante el Tratamiento de las Aguas Residuales Asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren's).

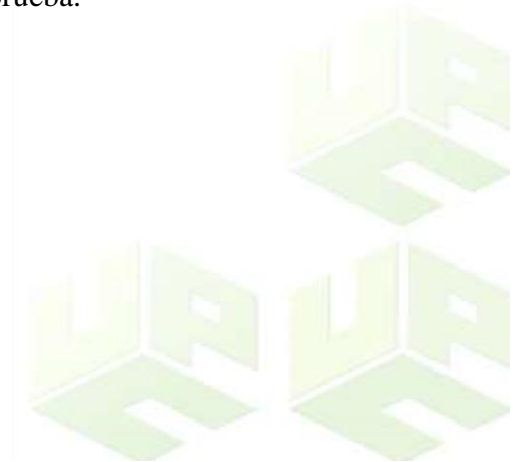
El Quitosano es muy soluble y tiene una carga catiónica muy alta lo que permite que a dosis elevadas produzca resuspensión de las partículas. Sarkar y col., (2005), señala que el Quitosano contiene grupos amino e hidroxilo (OH y NH₂) altamente polares y tiene un valor de pK cercano a 6,5 en medio ácido. Es decir, a pH inferior a 6,5, es de naturaleza catiónica y atrae las moléculas de proteína cargadas negativamente presentes en las aguas residuales lácteas y reduce considerablemente el contenido de sólidos.

Cuando se aumenta el pH la carga superficial del Quitosano disminuye por lo que la neutralización de la carga se vuelve menos importante. Entonces, a pH5 la desestabilización de partículas es provocada por el efecto combinado de neutralización de carga y mecanismo de puente de polímeros. A pH más altos la carga superficial del Quitosano se vuelve menos

positiva debido a la desprotonización de los grupos funcionales presentes y la partícula se estabiliza. Por esta razón se trabajó con pH ligeramente ácidos (4-6).

Se ha demostrado que no se necesitan altas dosis de Quitosano para lograr altas remociones selmer-olsen y col., (1996) lograron una completa coagulación-floculación, en un tiempo breve con dosis de entre 15-25 Mg/L a pH de 4.5- 5.25, para aguas residuales de lácteos. Del mismo modo Gueetha y col., (2013) trabajaron dosis entre 50-250mg/L para aguas residuales lácticas. consecutivamente a partir de estas investigaciones, se optó por implementar pre ensayos con dosis de entre 5-250 Mg/L, hasta encontrar un rango óptimo de remoción que nos permitiese la mejor remoción con menor cantidad de coagulante. En este sentido, Se trabajó con dosis de coagulante de 100, 120, 140, mg/L para pH4, 60, 80 y 100 mg/L, para pH5 y 120, 140 y 160 mg/L para pH6. Se mantuvieron constantes el volumen de reacción (1 litro), la temperatura (25 ± 1 °C) y el proceso de coagulación-floculación y sedimentación, con un control para simular el proceso sin adición del coagulante.

Los resultados de las pruebas de coagulación, se analizaron, estableciendo cual fue la concentración de coagulante que presentó la mayor remoción o que se obtuvo resultados eficaces respecto a parámetros como A y G, Turbidez, DQO, SST y SSV, así como los que presentaron mayor capacidad clarificadora. Se realizaron graficas de comportamiento describiendo los valores promedios obtenidos en cada prueba.





7.2.2. Tratamiento a pH 4 en Aguas Residuales Asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s).

7.2.2.1. Comportamiento del pH. El valor del pH de la muestra inicial de este tipo de agua se mantuvo en un rango de 10,9, y 11,4 no siendo este el adecuado según lo exigido por la legislación colombiana actual para vertimientos a cuerpos de agua (decreto 3930 de 2010).

Se procedió a disminuir el pH a 4.0 para determinar mediante los procedimientos de laboratorios la máxima remoción de los parámetros. con la adición de la solución de HCl cuya preparación se mencionó en la metodología se disminuyó el pH a 4 y se determinó la efectividad del Quitosano en estas aguas residuales. Con la adición de un ácido o base se agregan H⁺ y OH⁻ a la muestra de agua residual y las partículas coloidales se ionizan tanto en sus grupos carboxílicos y aminos dándoles una carga neutral formando un zwitterion. En este punto, la partícula se neutraliza y las fuerzas de repulsión y de van der Waals disminuyen lo que las hace menos estables y tienden a precipitar (Sincero y Sincero, 2003; Wang et al., 2005^a)

Adicionalmente, Selmer-Olsen y col., (1996) señalan que el pH que presentan las aguas residuales lácteas (>9) poseen una gran capacidad amortiguadora y un consumo alto de productos químicos para el ajuste del pH.

Cabe destacar que este fenómeno influyo de manera negativa en la efectividad del Quitosano para este tratamiento a pH 4, ya que se utilizó cantidades considerables de HCl para hacer descender el pH de la muestra de 11,4 a 4 para realizar el proceso de coagulación en el test de jarras, es así que el resultado en los porcentajes de remoción de los parámetros físico químicos evaluados en las concentraciones óptimas para este tratamiento el cual fueron de 100, 120, 140 Mg/L, comparado con el testigo (control) no tiene mucha diferencia, como se observa a continuación.

7.2.2.2. Remoción de la Turbidez. Después del tratamiento de las aguas asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s) con distintas dosis de Quitosano (100, 120, 140, Mg/L) se obtuvieron valores promedio de turbidez residual con poca variación, fluctuando entre 33,69 y 42,1 NTU, en el triplicado realizado para este parámetro como se observa en la Tabla 10, lo que representa un resultado positivo en el tratamiento con Quitosano para las aguas provenientes de la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s).

Tabla 9

Comportamiento de la remoción de turbidez durante la aplicación del Quitosano a aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s).

TRIPPLICADO pH4	DOSIS (Mg/L)	R1 TURBIDEZ (NTU)	R2 TURBIDEZ (NTU)	R3 TURBIDEZ (NTU)	TURBIDEZ TOTAL (NTU)
		100	40.5	34.2	42.35
	120	34.55	30	36.5	33.68
	140	34.35	36.8	55.15	42.1
	CONTROL	136.5	142.5	159.5	146.17
	MUESTRA				4518,66

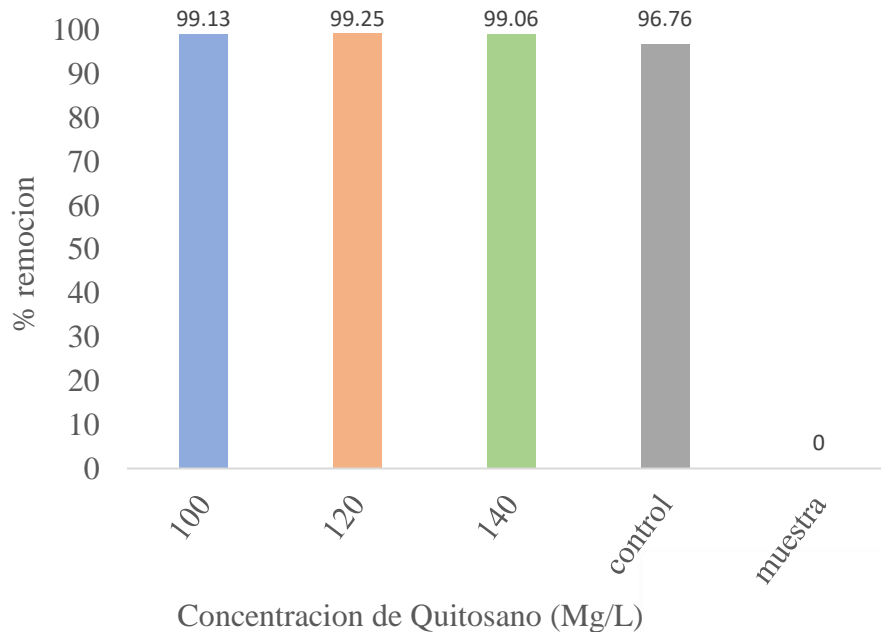
Nota. Fuente: autor 2021

Las remociones de turbidez son superiores al 99% a cualquier dosis del coagulante como se observa en la Figura 10, lo que garantiza el cumplimiento de las exigencias mínima de la legislación colombiana (decreto 3930 de 2010). Gueetha y col., (2013) evaluaron la

eficiencia del Quitosano en aguas residuales de productos lácteos comprobando la efectividad de dicho biopolímero, a pH 4 removieron más del 90% de turbidez de la muestra de agua residual láctea.

Figura 10

Comportamiento de la remoción de turbidez durante la aplicación del Quitosano a pH 4 respecto a la muestra



Nota. Fuente: autor 2021

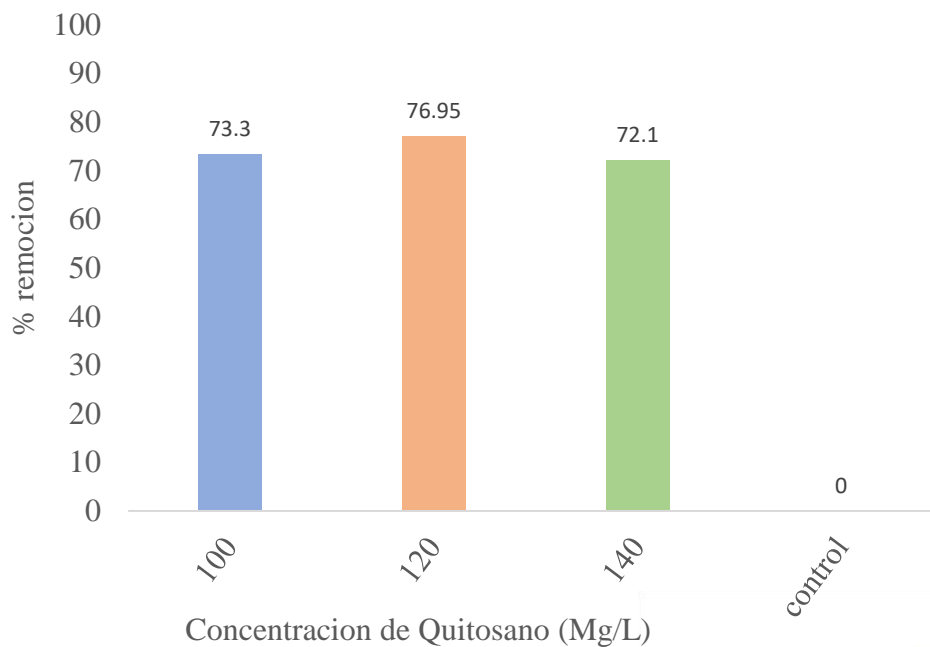
hubo una tendencia regular, sin aumentos o disminuciones, a medida que se aumentó la concentración del coagulante, Por otra parte, el tratamiento sin la influencia del Quitosano como coagulante obtuvo una efectividad de un 96,76% lo que indica que el proceso de mezcla rápida y mezcla lenta sin adición de coagulante es eficiente para la remoción de este



parámetro. Comparando con la normativa para vertimientos a cuerpos de aguas (decreto 3930 de 2010), lo que demuestra que para este tratamiento el Quitosano es un producto eficiente con remociones superiores al 70% respecto al control, como se puede ver en la Figura 11.

Figura 11

Comportamiento de la remoción de turbidez durante la aplicación del Quitosano a pH 4 respecto al control.



Nota. Fuente: autor 2021



7.2.2.3. Remoción de DQO. En cuanto al comportamiento presentado después del tratamiento de las aguas asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s) arrojo resultados en los que el remanente de agua residual fluctuó entre 80 – 285,33 Mg/L de carga orgánica en el rango de las dosis analizadas como se presenta en la (Tabla 11). Mostrando que el tratamiento con Quitosano obtuvo buenos resultados de remoción con las dosis aplicadas.

Tabla 10

Comportamiento de la remoción de DQO durante la aplicación del Quitosano a aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s).

TRIPLICADO pH4	DOSIS	R1 DQO	R2 DQO	R3 DQO	DQO
	(Mg/L)	(Mg/L)	(Mg/L)	(Mg/L)	TOTAL (Mg/L)
	100	80	120	200	133.33
	120	120	40	80	80
	140	400	240	216	285.33
	CONTROL	480	800	600	626.66
	MUESTRA				8000

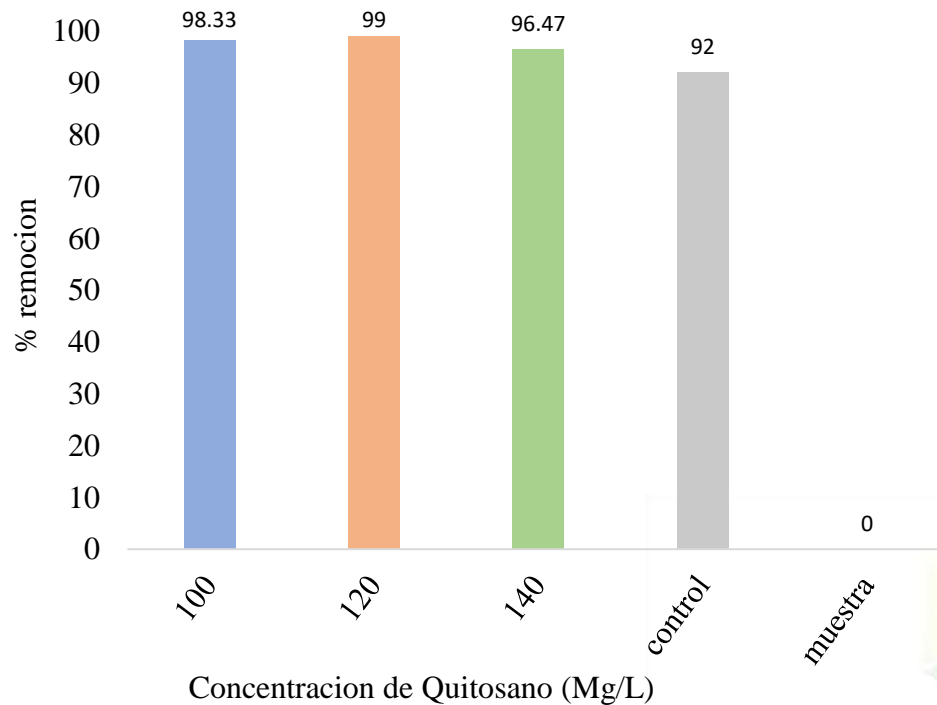
Nota. Fuente: autor 2021

Como se puede apreciar en la Figura 12, se obtuvieron remociones con valores que estuvieron entre 96,47% y 99% respecto a la muestra, encontrándose la mayor remoción para la dosis de Quitosano de 120 Mg/L con una remoción de 99% cumpliendo con lo exigido por la norma (decreto 3930 de 2010). Así mismo, Sarkar y col., (2005) utilizó dosis de 100 Mg/L para el tratamiento de aguas residuales en industrias lácteas, donde obtuvo como resultado

una reducción del 70% de contenido de DQO para una muestra inicial de 1500 Mg/L y una muestra post tratamiento de 450 Mg/L cuando el pH se encontraba en un valor de 4.0, del mismo modo evaluaron la dosis de 10 Mg/L a pH4, buscando rentabilidad, obteniendo una remoción del 40% de DQO.

Figura 11

Comportamiento de la remoción de DQO durante la aplicación del Quitosano a pH 4 respecto a la muestra



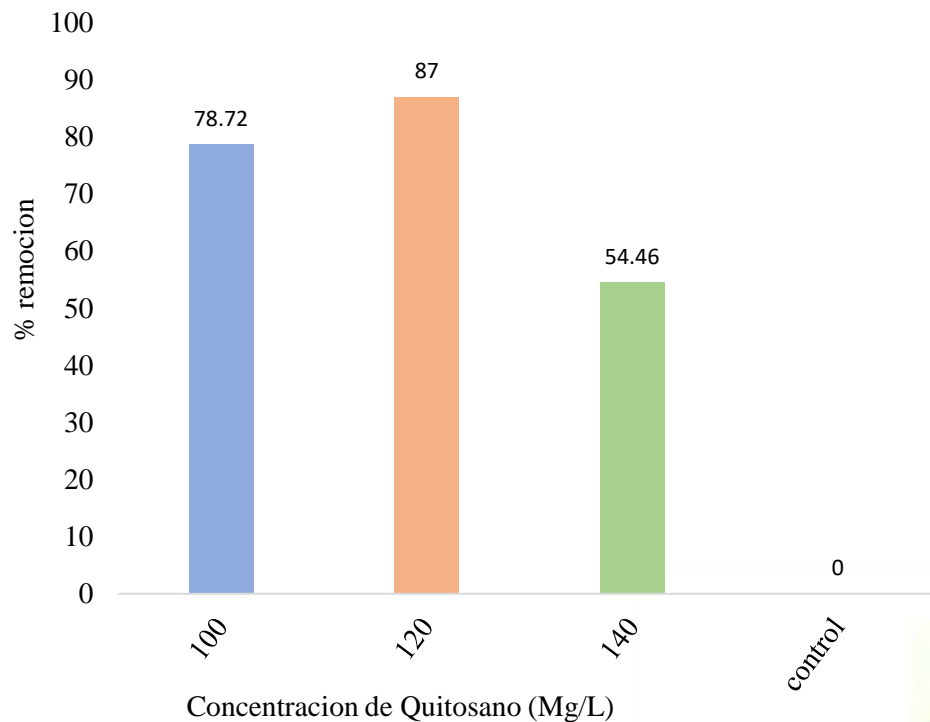
Nota. Fuente: autor 2021



Se evidencia también, un porcentaje de remoción de la dosis de 120 Mg/L de un 87 % con respecto al control, lo que garantiza la efectividad del Quitosano en la remoción de este parámetro, como se evidencia en la Figura 13.

Figura 12

Comportamiento de la remoción de DQO durante la aplicación del Quitosano a pH 4 respecto al control



Nota. Fuente: autor 2021

7.2.2.4. Remoción de Sólidos Suspendidos Totales (SST). al realizar la aplicación del coagulante se obtuvieron valores que fluctuaron entre 84,44 y 220 mg/L, La dosis de 100 mg/L fue la que presentó mejor comportamiento, debido a su gran capacidad de remoción con respecto a la muestra cómo se puede observar en la (Tabla 12). Donde el remanente después del tratamiento de la dosis es significativamente bajo.

Tabla 11

Comportamiento de la remoción de SST durante la aplicación del Quitosano a aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s).

TRIPPLICADO pH4	DOSIS	R1 SST	R2 SST	R3 SST	SST TOTAL
	(Mg/L)	(Mg/L)	(Mg/L)	(Mg/L)	(Mg/L)
	100	60,00	126,67	66,67	84,44
	120	180,67	173,33	273,33	209,11
	140	73,33	426,67	160,00	220,00
	CONTROL	646,67	413,33	300,00	453,33
	MUESTRA				3333,33

Nota. Fuente: autor 2021

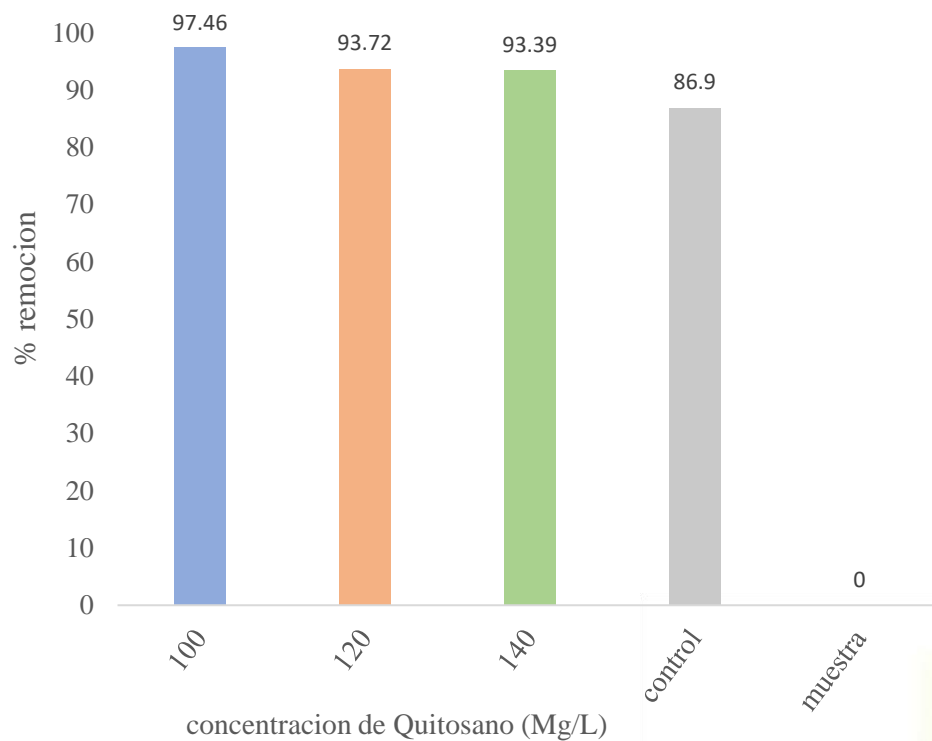
Para los SST se logró una remoción superior al 93% en todas las dosis respecto a la muestra, pero la que presento mejor comportamiento fue la de 100 Mg/L con un porcentaje de remoción de 97,46%, cumpliendo con lo exigido por la legislación colombiana (decreto 3930 de 2010).



cómo se evidencia en la Figura 14. Al respecto, Gueetha y col., (2013) obtuvieron remociones de solo el 45% de remoción para SST en aguas residuales de productos lácteos mediante tes de jarras a dosis constante.

Figura 13

Comportamiento de la remoción de SST durante la aplicación del Quitosano a pH 4 respecto a la muestra



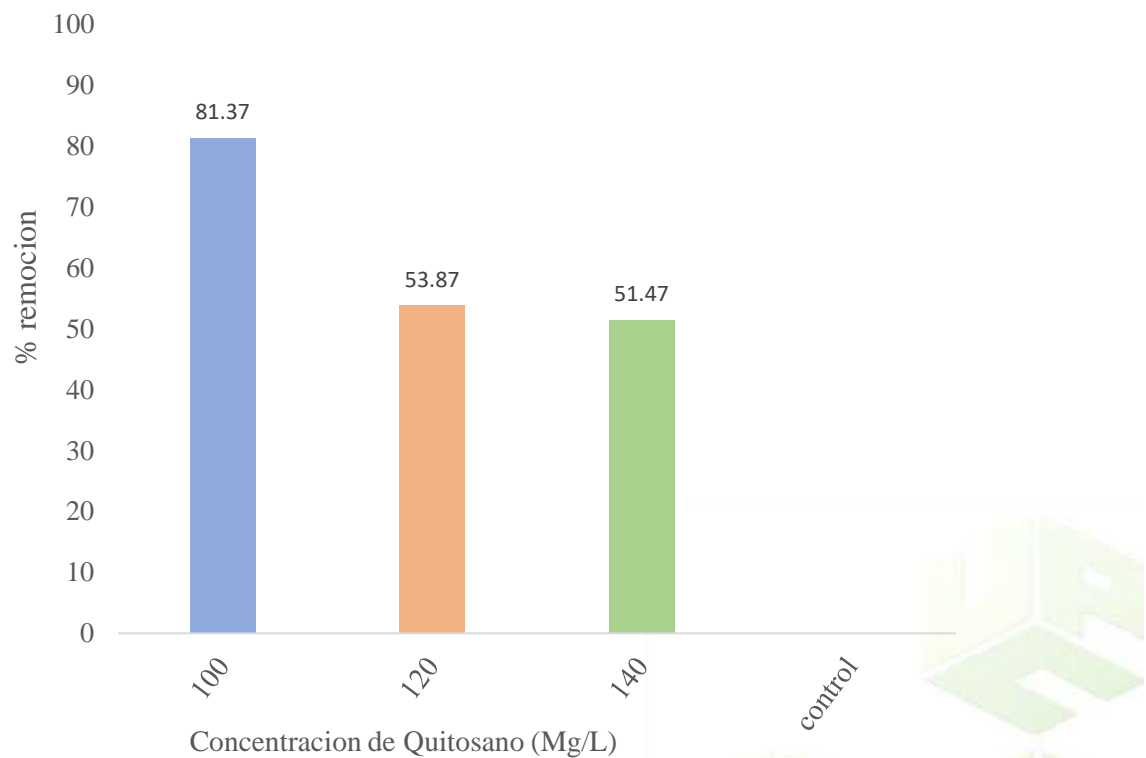
Nota. Fuente: autor 2021



Se evidencia una remoción de 81,37% de la dosis de 100 Mg/L respecto al control, como se muestra en la Figura 15, lo cual, garantiza la efectividad del Quitosano en la reducción de este parámetro.

Figura 14

Comportamiento de la remoción de SST durante la aplicación del Quitosano a pH 4 respecto al control



Nota. Fuente: autor 2021

7.2.2.5. Remoción de Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV). Aquí observamos el rango en el cual se obtuvo un remanente de SSV considerablemente bajo de aguas asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren's), con respecto a la muestra, entre las dosis estudiadas en el cual los rangos entre 100 y 140 Mg/L presentaron remociones de SSV cuyas concentraciones se encontraron entre 64,44 a 193,33mg/L como se observa en la Tabla 13. Estos resultados nos dan base para considerar este rango como eficiente para el tratamiento de este tipo de agua.

Tabla 12

Comportamiento de la remoción de SSV durante la aplicación del Quitosano a aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren's).

TRIPLICADO pH4	DOSIS	R1 SSV	R2 SSV	R3 SSV	SSV TOTAL
	(Mg/L)	(Mg/L)	(Mg/L)	(Mg/L)	(Mg/L)
	100	53,33	120,00	20,00	64,44
	120	80,00	120,00	180,00	126,67
	140	233,33	100,00	246,67	193,33
	CONTROL	1213,33	373,33	266,67	617,78
	MUESTRA				3133,33

Nota. Fuente: autor 2021

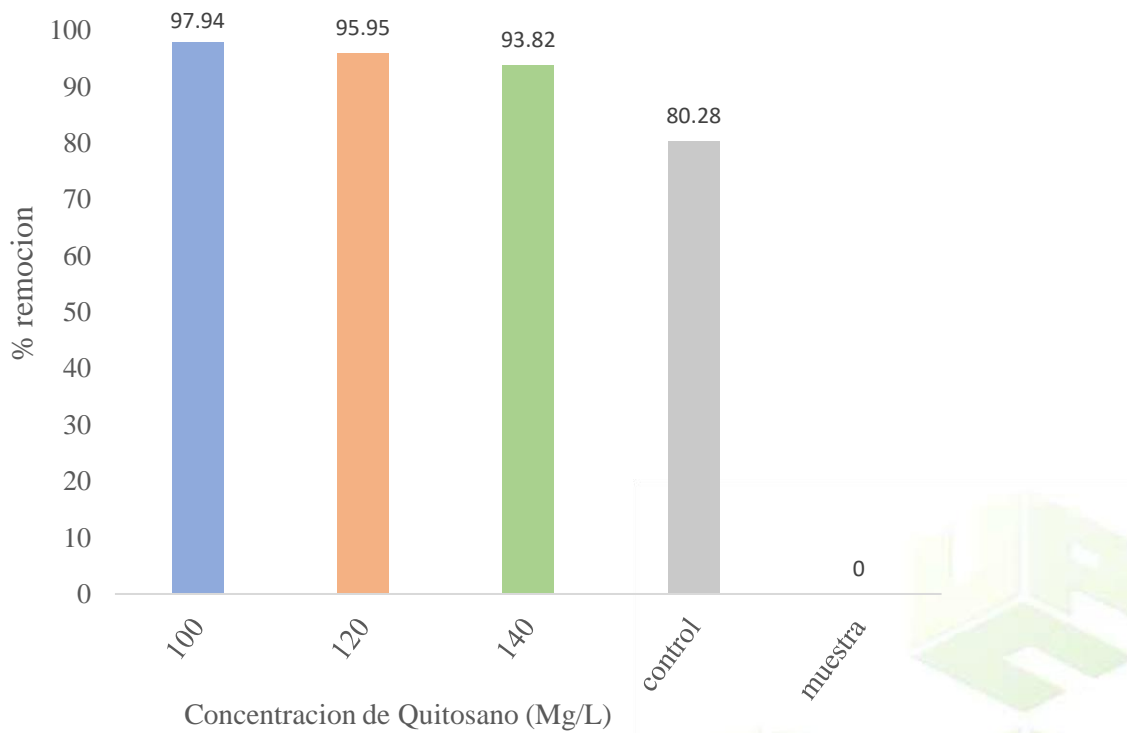
En cuanto a la remoción de SSV es evidente que se obtuvo buenos resultados en todas las dosis aplicadas de Quitosano arrojando porcentaje de remoción superiores al 93% lo cual se ajustó claramente a lo establecido por la normatividad colombiana (decreto 3930 de 2010) y de esta manera se estableció la dosis óptima en 100 Mg/L donde el porcentaje de remoción



fue de 97,94% con respecto a la muestra, como se aprecia en la Figura 16. Por otro lado, Ahmad y col., (2005) evaluaron la efectividad del Quitosano en aguas de la industria de la palma de aceite, utilizando dosis de 500 Mg/L en un pH de 4-4,5 se removió más del 90% de los sólidos suspendidos volátiles.

Figura 15

Comportamiento de la remoción de SSV durante la aplicación del Quitosano a pH 4 respecto a la muestra

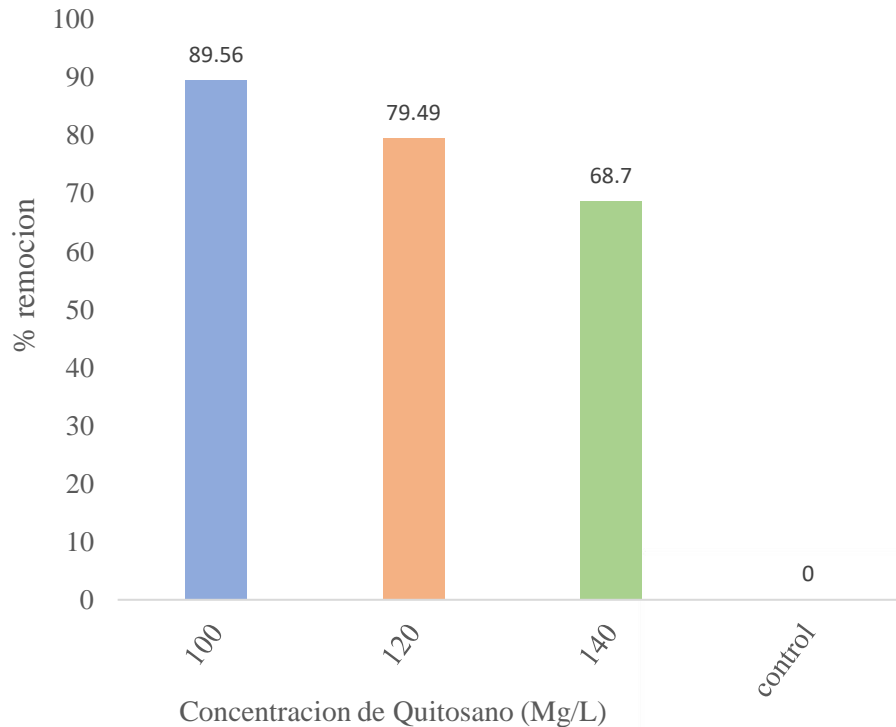


Nota. Fuente: autor 2021

Se puede apreciar también buena remoción de las dosis respecto al control como se evidencia en la Figura 17. Arrojando porcentajes de remociones de 89,56%, 79,49% y 68,7% para las dosis evaluadas, garantizando así la efectividad del Quitosano.

Figura 16

Comportamiento de la remoción de SSV durante la aplicación del Quitosano a pH 4 respecto al control



Nota. Fuente: autor 2021

7.2.2.6. Remoción de Aceites y Grasas (A y G). En el tratamiento de las aguas asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s) para este parámetro en los rangos evaluados (100, 120 Y 140 Mg/L) después de la aplicación del coagulante presentó remanentes con bajas concentraciones con poca variación, fluctuando entre 440 – 480 mg/L con respecto a la muestra inicial que presentó una concentración de 1300 mg/L de A y G, como se evidencia en la Tabla 14.

Tabla 13

Comportamiento de la remoción de A y G durante la aplicación del Quitosano a aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s).

TRIPPLICADO pH4	DOSIS	R1 A y G	R2 A y G	R3 A y G	A y G
	(Mg/L)	(Mg/L)	(Mg/L)	(Mg/L)	TOTAL (Mg/L)
	100	508	420	439	455.66
	120	430	459	460	449.66
	140	578	429	410	472.33
	CONTROL	655	736	808	733
	MUESTRA				1300

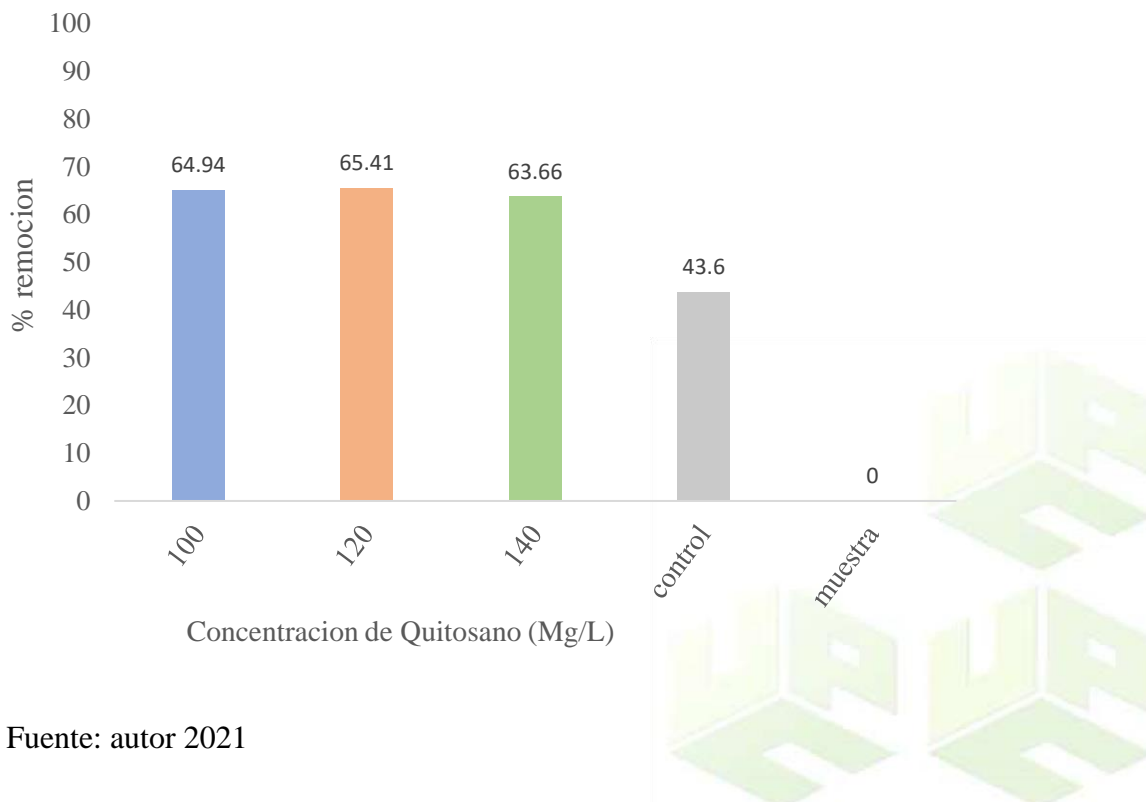
Nota. Fuente: autor 2021

Después del tratamiento aplicado este parámetro arrojó un resultado equivalente a una remoción del 65,41% para la dosis de Quitosano de 120 Mg/L (Figura 18). La remoción para esta variable tuvo poca variación, fluctuando entre 63% y 66%. Estos resultados dejan claro de que el coagulante no se comportó de manera eficiente, principalmente por su bajo

rango de remoción con respecto a la muestra. Esto demuestra que el Quitosano no es un coagulante efectivo para eliminar el contenido de aceites y grasas de las aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar a un pH de 4, sin embargo, aunque no es un producto que remueve altos porcentajes de A y G se puede utilizar para disminuir el índice de contaminación presente en este tipo de aguas residuales. Ahmad y col., (2005), a un valor de pH4 con una dosis de 500mg/L de Quitosano removieron más del 90% de aceites y grasas, y trabajando con dosis de 300mg/L se obtuvo una remoción del 70% en A y G para aguas residuales de palma de aceite.

Figura 17

Comportamiento de la remoción de A y G durante la aplicación del Quitosano a pH 4 respecto a la

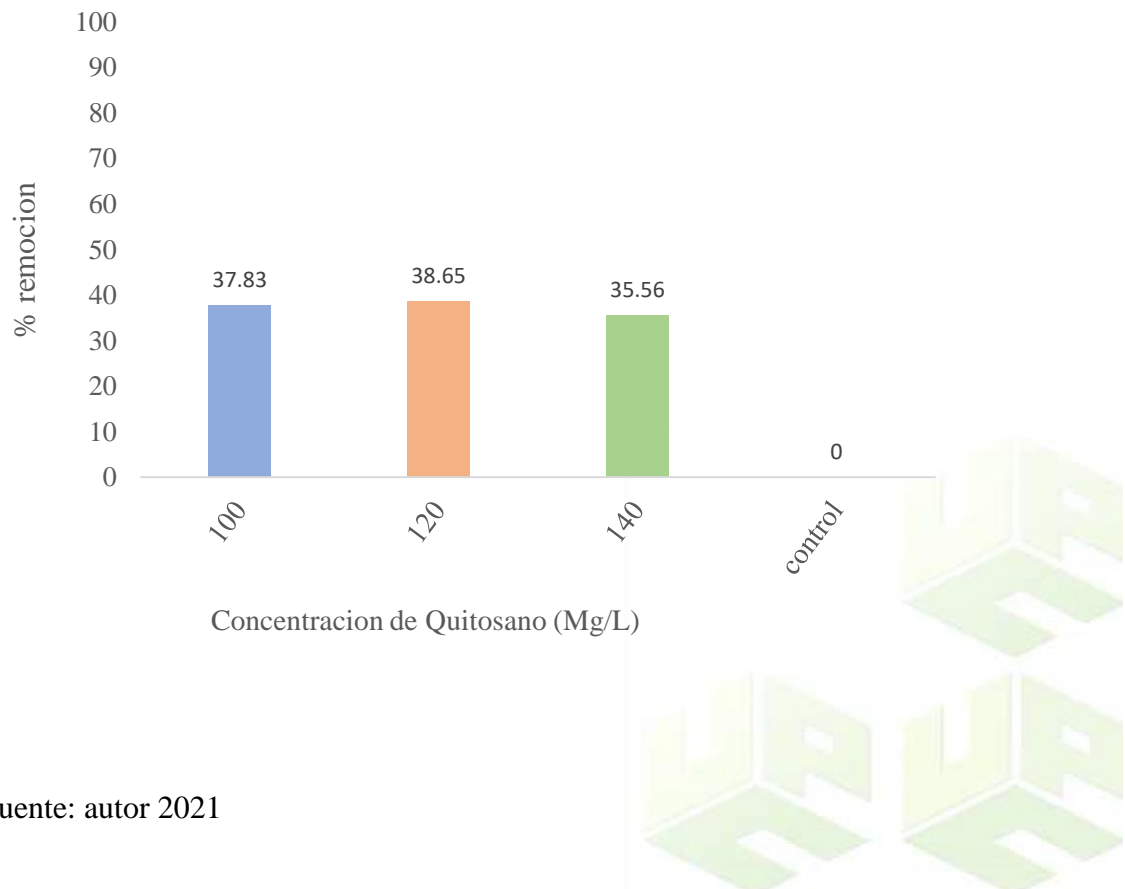


Nota. Fuente: autor 2021

Los porcentajes de remoción con respecto al control también mostraron poca efectividad obteniendo remociones por debajo del 40% como se observa en la Figura 19, por lo cual, no cumple con el límite mínimo de remoción para aceites y grasas (remoción $\geq 80\%$ en carga) exigido por la legislación colombiana (decreto 3930 de 2010).

Figura 18

Comportamiento de la remoción de A y G durante la aplicación del Quitosano a pH 4 respecto al control

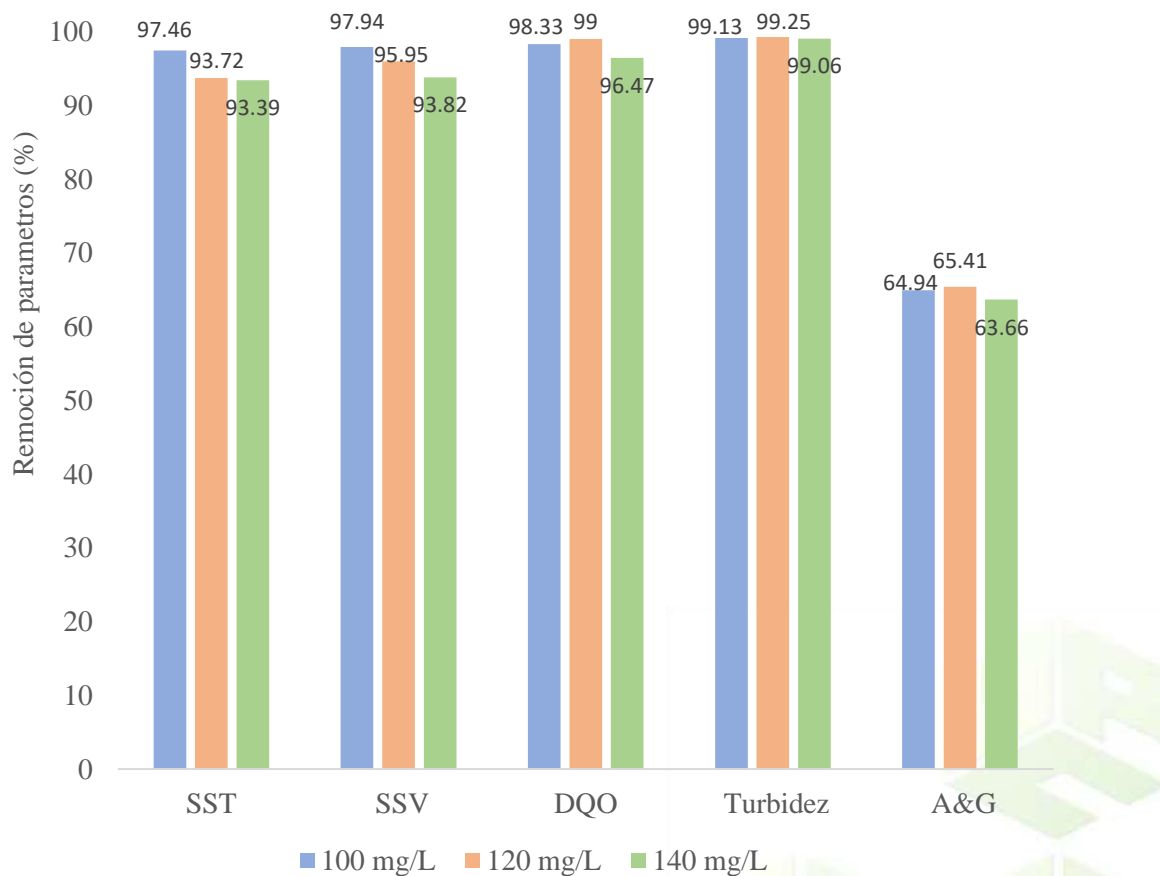


Nota. Fuente: autor 2021

7.2.2.7. Efecto de la dosis a pH 4. La dosificación de Quitosano fue un parámetro importante que se ha considerado para la optimización del rendimiento y que es crucial en la evaluación de costos y la economía del proceso de tratamiento.

Figura 19

Efecto de las dosis a pH4



Nota. Fuente: autor 2021

Como se puede apreciar en la figura el aumento en la dosis de Quitosano hasta 120 mg/L aumentó el porcentaje de remoción de turbidez y DQO, posterior a esto fue disminuyendo la efectividad a dosis >140 Mg/L, que, de acuerdo con López y col., (2020) ocurre por el exceso de adsorción de polímero en la superficie de la partícula, lo cual, da como resultado su reestabilización y provoca repulsión electrostática (altas dosis de Quitosano producen inversión de carga). Del mismo modo, SSV y SST mostraron una tendencia decreciente con dosis >100 mg/L.

Esto se debe a la alta densidad de carga del Quitosano, La densidad de carga aumenta con el aumento de la dosis de Quitosano y, por lo tanto, aumenta la tasa de adsorción (Gueetha y col., 2013). En este sentido, la alta densidad de carga produce que se requiera dosis de quitosano pequeñas para desestabilizar A y G; ya que en dosis altas como se puede apreciar no posee reducciones notables Ahmad y col., (2006).

A y G obtuvo un grado máximo de remoción de 65,41%. Las grasas y aceites en suspensión no se removieron antes del tratamiento, lo cual influye negativamente en el tratamiento, ya que de acuerdo con (Montalvo Santiago 2013) la coagulación-floculación elimina de forma eficiente trazas de aceites y grasas emulsionadas. Tratamiento a pH 5 en Aguas Residuales Asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren's).





7.2.3. Tratamiento a pH 5 en Aguas Residuales Asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s).

7.2.3.1. Comportamiento del pH. La muestra arrojó un pH de 11.4 y para evaluar la efectividad del coagulante procedimos a disminuir el pH a 5 para determinar mediante los ensayos de laboratorio la máxima remoción de los parámetros sugeridos, para demostrar que con la variación de pH arrojó resultados que demuestran remoción superior a la que exige la legislación colombiana (decreto 3930 de 2010). A pH 5 más del 90% de los grupos amina del Quitosano están protonados, esto da como resultado especies catiónicas que pueden neutralizar las cargas negativas que se encuentran en las partículas coloidales presentes en las aguas residuales de origen lácticas. Sin embargo, en condiciones alcalinas predomina la forma desprotonada del grupo amina

7.2.3.2. Remoción de la Turbidez. Las muestras de aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s) presentaron una turbidez muy alta obteniéndose para la muestra 4518.66 NTU. Aunque en las dosis de (60, 80, y 100) Mg/L. Después del tratamiento con Quitosano Se obtuvieron remociones representadas en la (Tabla 15) por los remanentes obtenidos con respecto a la muestra y al control fluctuando entre 28.04 y 96.55 NTU lo cual indica la efectividad del coagulante aplicado.





Tabla 14

Comportamiento de la remoción de turbidez durante la aplicación del Quitosano a aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s).

TRIPPLICADO Ph5	DOSIS	R1	R2	R3	TURBIDEZ
	(Mg/L)	TURBIDEZ (NTU)	TURBIDEZ (NTU)	TURBIDEZ (NTU)	TOTAL (NTU)
	60	7.45	264	18.2	96.55
	80	27.45	38.23	41.36	35.68
	100	6.71	31.17	46.26	28.04
	CONTROL	4378	4409.5	773.66	3187
	MUESTRA				4518.66

Nota. Fuente: autor 2021

Las remociones de turbidez son superiores al 97% a cualquier dosis del coagulante como se observa en la Figura 21, siendo el tratamiento más efectivo el aplicado para la dosis de coagulante de 100 Mg/L garantizando un 99.38% de remoción. López Muniz y col., (2020) evaluaron la eficiencia del Quitosano en efluentes lácteos y se demostró que una dosis de Quitosano (Qo) de 73,34mg/L a un pH de 5,0 representa una remoción del 97,6% turbidez con respecto a la muestra. Así mismo Gueetha y col., (2013) señalan una remoción del 96% de turbiedad a pH 5 en aguas residuales de productos lácteos.

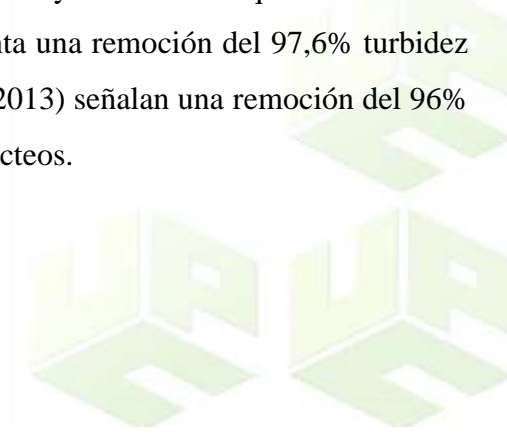
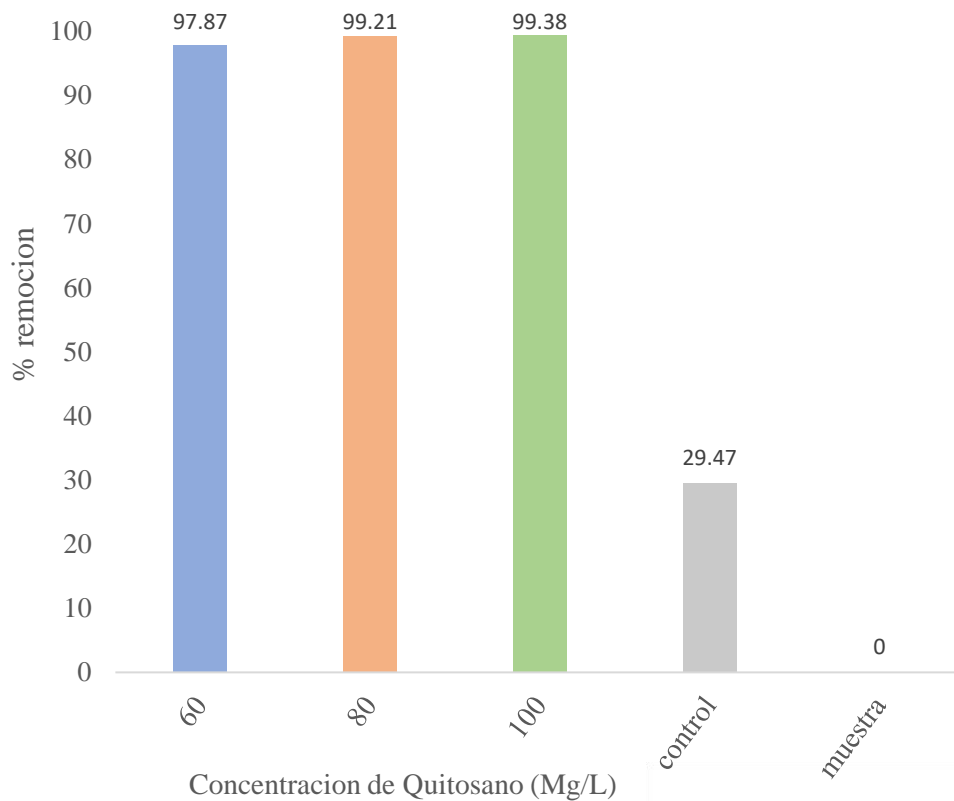




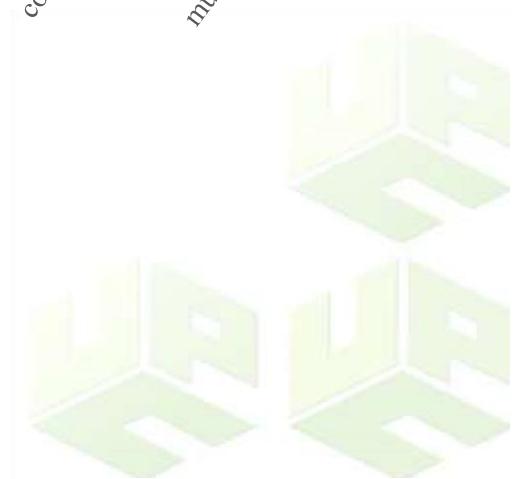
Figura 20

Comportamiento de la remoción de turbidez durante la aplicación del Quitosano a pH 5

respecto a la muestra



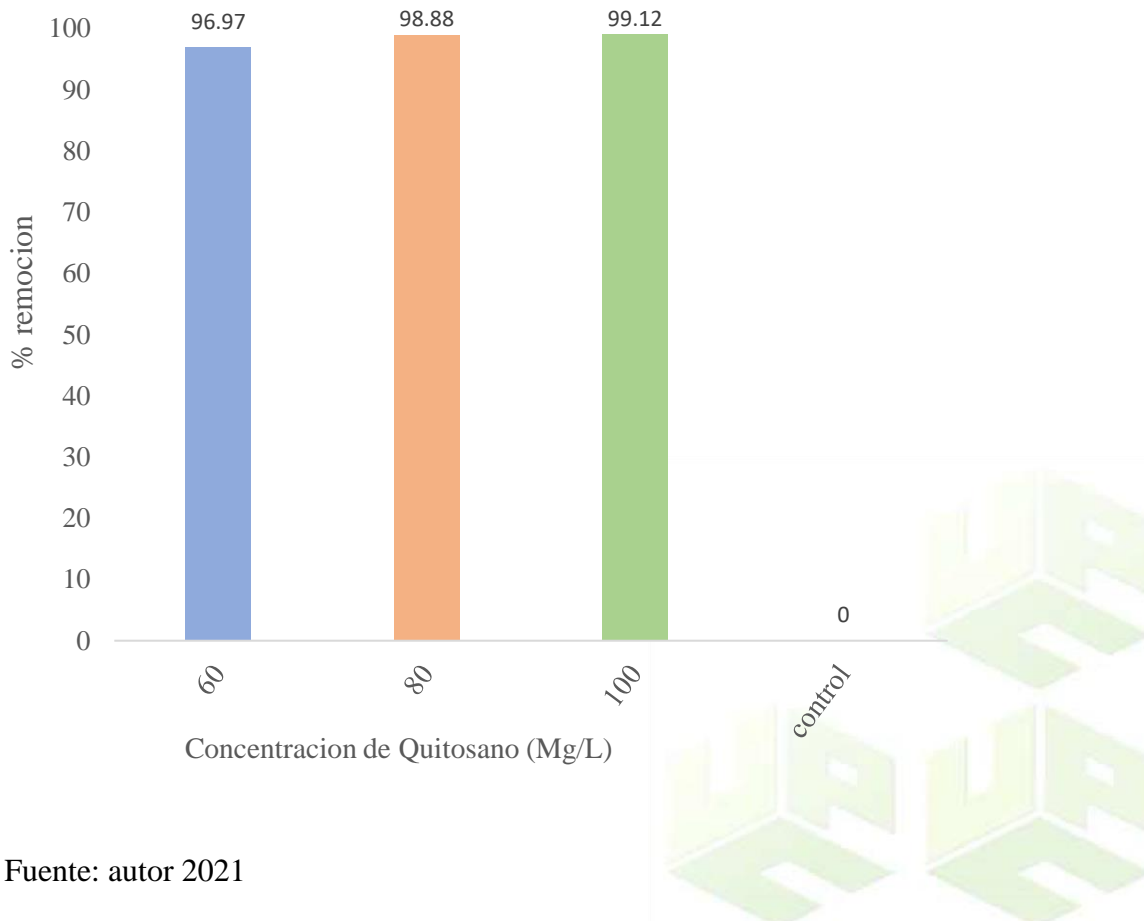
Nota. Fuente: autor 2021



Las remociones de turbidez respecto al control fueron altas con valores que oscilan entre 96,97%, y 99,12% para dosis de 60 mg/L y 100 mg/L respectivamente, como se indican en la figura 22. Estos valores indican que el Quitosano fue eficiente para remover valores de turbidez altos (4518.66 NTU) presentes en las aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del cesar.

Figura 21

Comportamiento de la remoción de turbidez durante la aplicación del Quitosano a pH 5 respecto al control



Nota. Fuente: autor 2021

7.2.3.3. Remoción de DQO. A continuación, se presenta el rango en el cual se determinó la efectividad del tratamiento con Quitosano en el que los remanentes de las muestras de aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren's) representan una remoción significativa con respecto a la muestra analizada y el control, obteniendo concentraciones remanentes de 186.66 a 333.33 Mg/L de carga orgánica después del tratamiento muy alejado del valor de 8000 y 6493,33 mg/L de carga orgánica arrojado por la muestra y el control.

Tabla 15

Comportamiento de la remoción de DQO durante la aplicación del Quitosano a aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren's).

TRIPPLICADO pH5	DOSIS	R1 DQO	R2 DQO	R3 DQO	DQO
	(Mg/L)	(Mg/L)	(Mg/L)	(Mg/L)	TOTAL (Mg/L)
	60	320	400	240	320
	80	480	80	440	333.33
	100	80	320	160	186.66
	CONTROL	6520	5600	7360	6493.33
	MUESTRA				8000

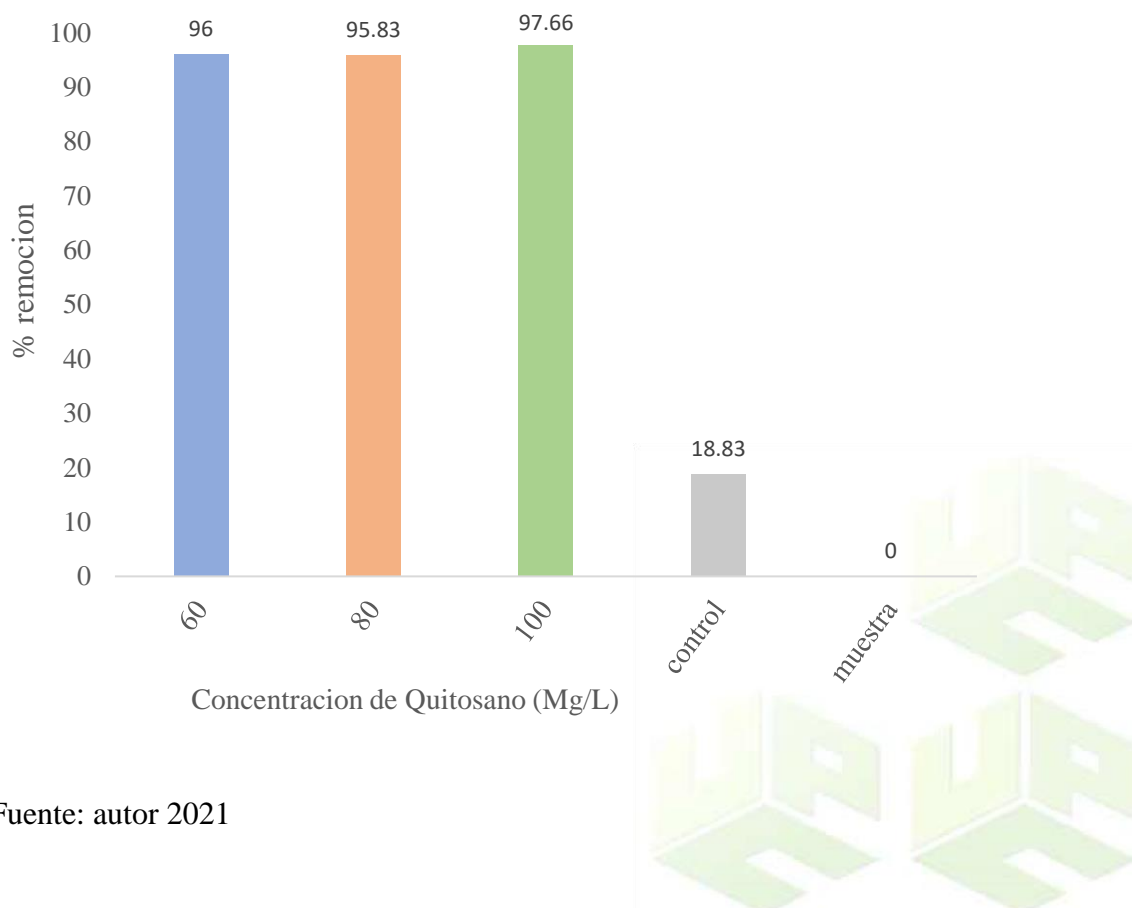
Nota. Fuente: autor 2021

Después del tratamiento con Quitosano se obtuvieron remociones de DQO superiores al 95% (Figura 23), mostrando mejor resultado la dosis de 100 Mg/L de Quitosano, donde se obtuvo un remanente de 186.66 mg/L (Tabla 16). Del mismo modo López, Selmer-Olsen y

col., (2020), Gueetha y col., (2013) trabajaron con dosis de 15mg/L y 150mg/L respectivamente, ambos a pH 5,0 mediante coagulación, la eficiencia varía de acuerdo a la calidad del agua residual, en este caso los resultados indican remociones para DQO de 90% y 80% respectivamente en aguas residuales de procesos lácteos.

Figura 22

Comportamiento de la remoción de DQO durante la aplicación del Quitosano a pH 5 respecto a la muestra

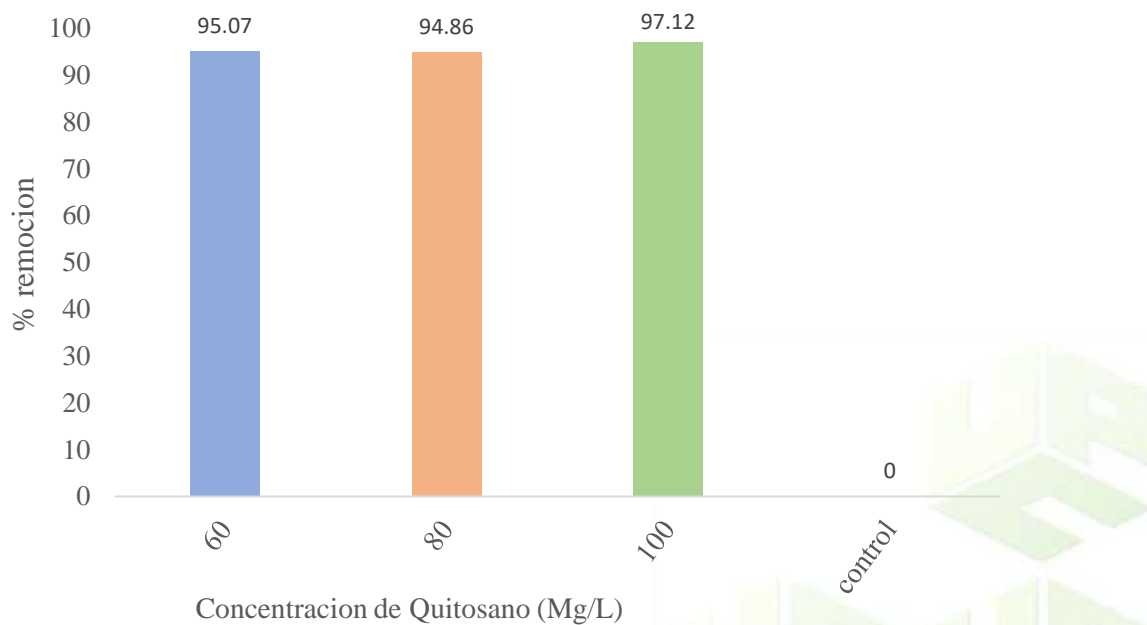


Nota. Fuente: autor 2021

La dosis de 100 mg/L alcanzó una remoción del 97.66% con respecto a la muestra, demostrando también gran diferencia de remoción respecto al control que removió un 18,83 %, lo que indica que el proceso de mezcla rápida y mezcla lenta sin adición de coagulante no es eficiente para la remoción de este parámetro. Comparando con la normativa para el control de los vertimientos (decreto 3930 de 2010) se puede apreciar que para esta variable con la remoción obtenida en la dosis óptima cumple con en el rango que exige la legislación colombiana (remoción $\geq 80\%$ en carga).

Figura 23

Comportamiento de la remoción de DQO durante la aplicación del Quitosano a pH 5 respecto al control



Nota. Fuente: autor 2021

7.2.3.4. Remoción de Sólidos Suspendidos Totales (SST). Las concentraciones de SST disminuyeron de 3333.33 y 1222,22 Mg/L que presentó la muestra y el control, hasta remanentes de 238.89, 245.33 y 144.45 Mg/L para las dosis de Quitosano de 60, 80 y 100 Mg/L, respectivamente como podemos apreciar en la (Tabla 17) dejando claro la efectividad del Quitosano como coagulante en tratamiento de aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s).

Tabla 16

Comportamiento de la remoción de SST durante la aplicación del Quitosano a aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s).

TRIPPLICADO pH5	DOSIS	R1 SST	R2 SST	R3 SST	SST TOTAL
	(Mg/L)	(Mg/L)	(Mg/L)	(Mg/L)	(Mg/L)
	60	136.67	323.33	256.67	238.89
	80	240	200	296	245.33
	100	170	126.67	136.67	144.45
	CONTROL	1386.67	1373.33	906.67	1222.22
	MUESTRA				3333.33

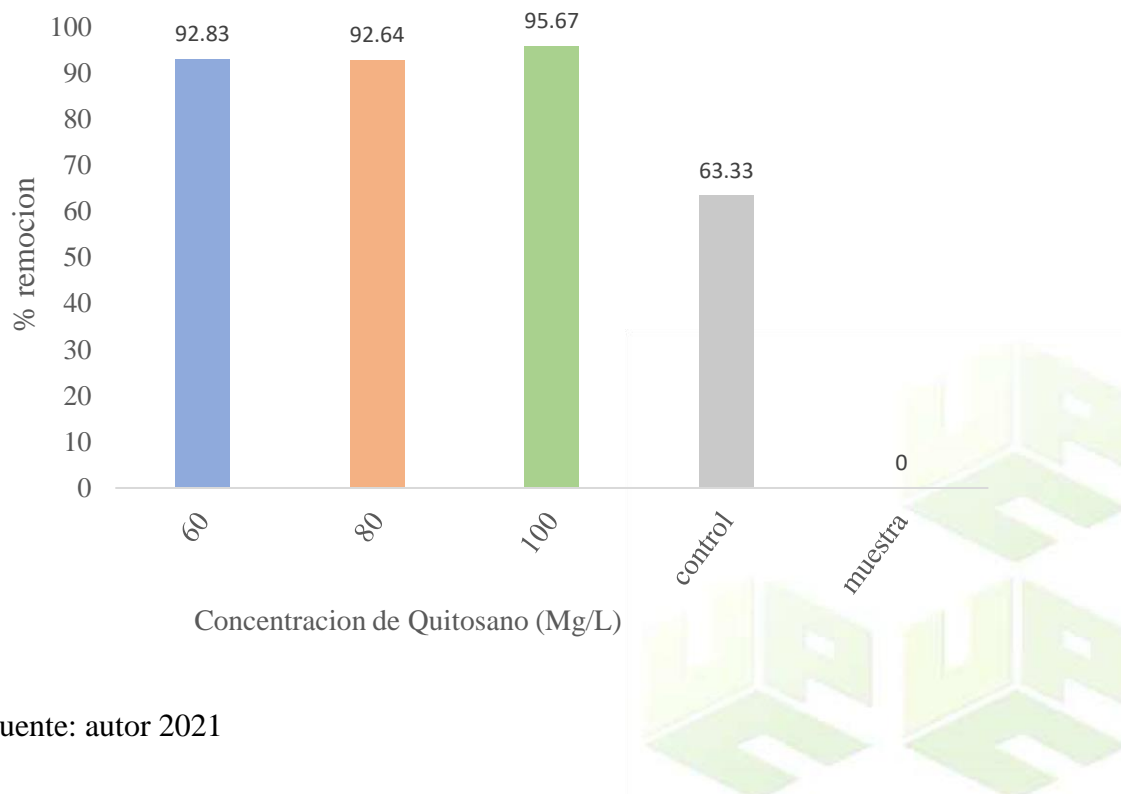
Nota. Fuente: autor 2021

Se lograron remociones muy parecidas que fluctuaron entre 92.64% y 95.64% con respecto a la muestra (Figura 25). La dosis de Quitosano de 100 Mg/l fue la óptima al remover el 95.67% de los SST presentes en las muestras, con un remanente de 144.45 mg/L (tabla 17), esta dosis fue considerada como óptima por la importancia que tiene la remoción de este parámetro en este tipo de agua residual viéndose reflejado por la diferencia con respecto al

control que removió un 63.33% respecto a la muestra y no es lo exigido por la legislación colombiana, conforme a lo expresado tenemos que la dosis considerada como óptima cumple con lo exigido por la legislación colombiana (decreto 3930 de 2010), y para la dosis de 60 y 80 Mg/L del coagulante se logró una remoción de 92.83% y 92.64% obteniéndose un remanente de 238.89 y 245.33 mg/L respectivamente (Tabla 17), el cual no alcanza a lo exigido por la norma. Gueetha y col., (2013) para aguas residuales de la industria láctea, obtuvieron una remoción de 73% de SST utilizando una dosis de 150 Mg/L a pH 5,0

Figura 24

Comportamiento de la remoción de SST durante la aplicación del Quitosano a pH 5 respecto a la muestra

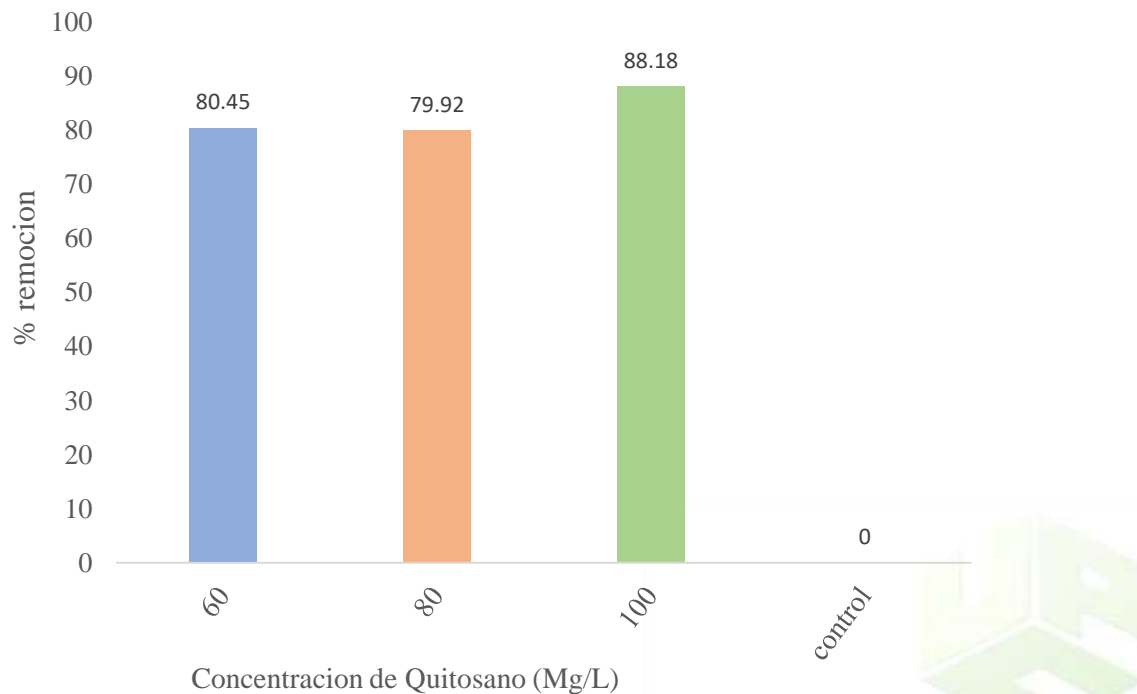


Nota. Fuente: autor 2021

En la Figura 26 se puede apreciar las remociones obtenidas de las dosis de Quitosano respecto al control, donde se presentan valores por encima del 79% para la dosis de 80 mg/L que fue la que obtuvo con menor eficiencia, lo cual da como resultado una buena remoción de SST con Quitosano respecto al control.

Figura 25

Comportamiento de la remoción de SST durante la aplicación del Quitosano a pH 5 respecto al control



Nota. Fuente: autor 2021

7.2.3.5. Remoción de Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV). En el tratamiento aplicado a las de aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s) se evaluaron las dosis de 60, 80 y 100 Mg/L de Quitosano, arrojando como resultado concentraciones remanentes de 137.78, 204.44, y 88.89 Mg/L respectivamente de SSV como se muestra en la (Tabla 18). Estos resultados nos garantizan la efectividad del tratamiento puesto que existe una diferencia entre los remanentes obtenidos después del tratamiento y la concentración de SSV de la muestra y el control que están en 3133.33 y 1108,89 Mg/L lo cual son valores considerablemente altos y ameritan un tratamiento que garantice su reducción.

Tabla 17

Comportamiento de la remoción de SSV durante la aplicación del Quitosano a aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s).

TRIPLICADO pH5	DOSIS	R1 SST	R2 SST	R3 SST	SST TOTAL
	(Mg/L)	(Mg/L)	(Mg/L)	(Mg/L)	(Mg/L)
	60	126.67	160	126.67	137.78
	80	233.33	206.67	173.33	204.44
	100	80	86.67	100	88.89
	CONTROL	1213.33	1340	773.33	1108.89
	MUESTRA				3133.33

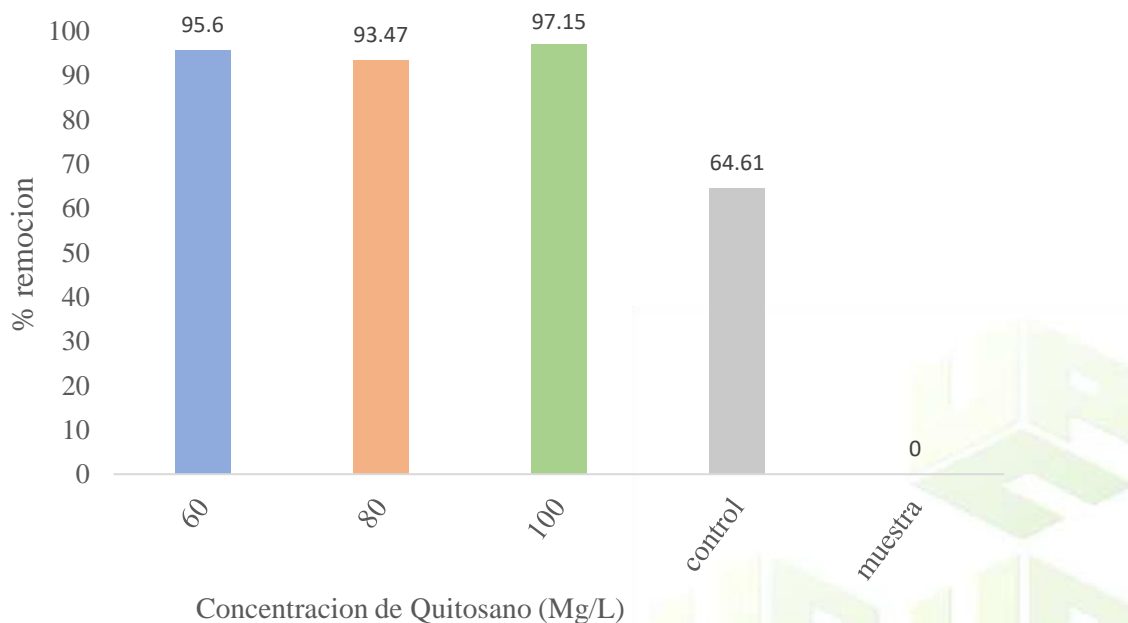
Nota. Fuente: autor 2021

En cuanto a la remoción de SSV es evidente que se obtuvo buenos resultados en todas las dosis aplicadas de Quitosano arrojando porcentaje de remoción superiores al 93% (Figura

27) lo cual se ajustó claramente a lo establecido por la normatividad Colombiana (decreto 3930 de 2010) y de esta manera se establece la dosis óptima es 100 Mg7L donde el porcentaje de remoción fue de 97,15% con respecto a la muestra y también existe remoción comparando con el control que arrojó un porcentaje de remoción de 64.61% respecto a la muestra, se evidencia también remociones superiores al 80% de las dosis respecto al control (Figura 27). Ahmad y col., (2006) señalaron que a PH 5,0 con dosis de 500mg/L de Quitosano (Qo) obtuvieron remociones del 95% de solidos suspendidos, en aguas residuales de la industria de palma de aceite

Figura 26

Comportamiento de la remoción de SSV durante la aplicación del Quitosano a pH 5 respecto a la muestra.

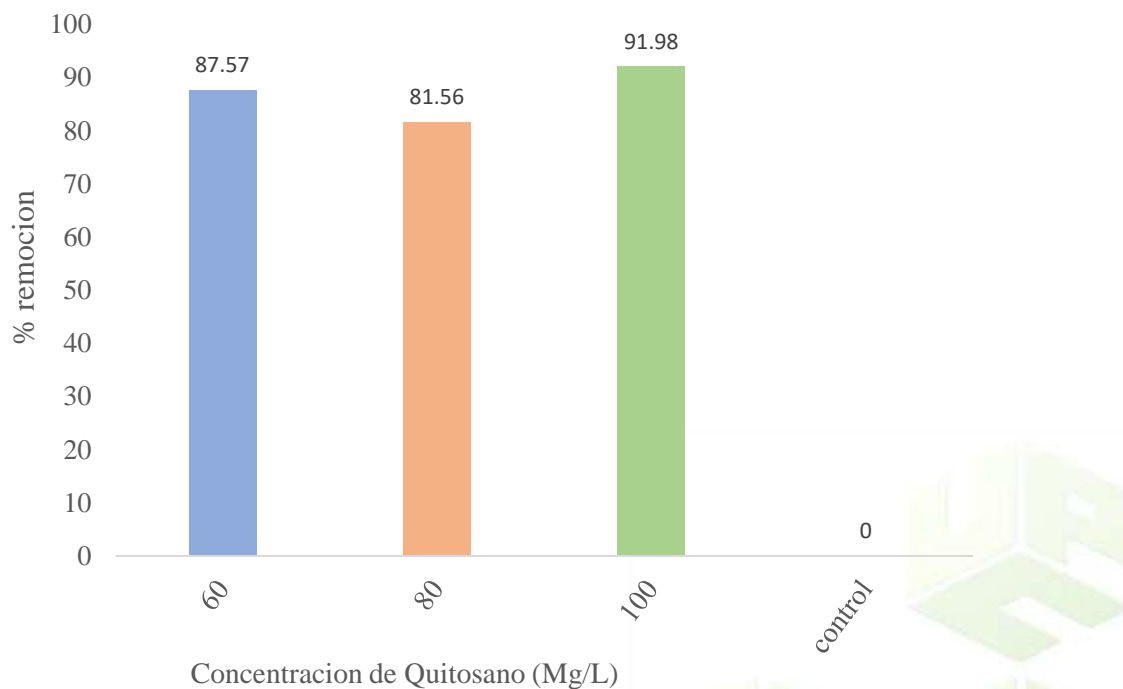


Nota. Fuente: autor 2021

Se puede apreciar las remociones obtenidas de las dosis de Quitosano respecto al control, en la figura 28 donde se presentan valores por encima del 81% para la dosis de 80 mg/L que fue la que obtuvo con menor eficiencia, y una dosis de 100 mg/L presentó una remoción de 91,98% lo anterior da como resultado una buena remoción de SST con Quitosano respecto al control.

Figura 27

Comportamiento de la remoción de SSV durante la aplicación del Quitosano a pH 5 respecto al control



Nota. Fuente: autor 2021



7.2.3.6. Remoción de Aceites y Grasas (A y G). Después de realizar el tratamiento a las de aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s) tenemos las pautas necesarias para demostrar que el Quitosano puede ser una alternativa para reducir la concentración de aceites y grasas de las aguas residuales como se muestra en la (Tabla 19), en donde se evaluó este coagulante en un rango comprendido entre 60 y 100 ml y se obtuvieron remanentes con más baja concentración (323, 459 y 630) Mg/L de A y G con respecto a la muestra inicial que presentó una concentración de 1300 mg/L de A y G.

Tabla 18

Comportamiento de la remoción de A y G durante la aplicación del Quitosano a aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s).

TRIPPLICADO pH5	DOSIS	R1 A y G	R2 A y G	R3 A y G	TOTAL
	(Mg/L)	(Mg/L)	(Mg/L)	(Mg/L)	(Mg/L)
	60	286	427	256	323
	80	294	608	475	459
	100	506	760	624	630
	CONTROL	920	872	997	930
	MUESTRA				1300

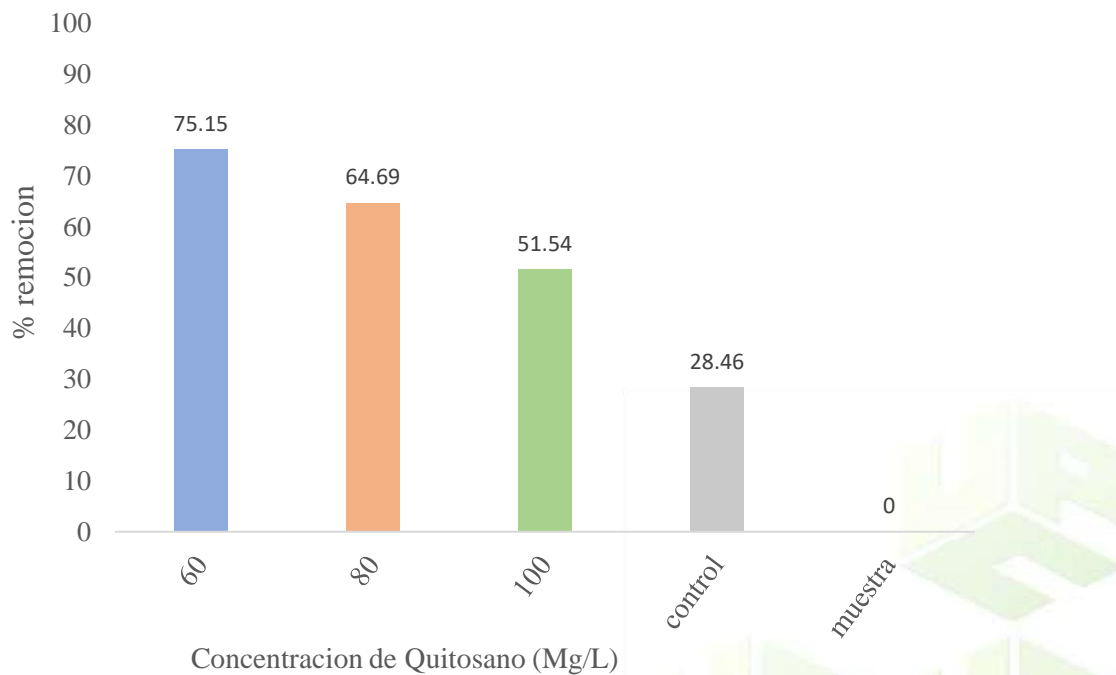
Nota. Fuente: autor 2021

En la Figura 29 se observa el rango de remoción entre 51,54% y 75,15% de A y G, encontrándose la mejor remoción para la dosis de Quitosano de 60 Mg/L con un porcentaje de remoción de A y G de 75,15% con respecto a la muestra. Comparando con la normativa para vertimientos a cuerpos de aguas (decreto 3930 de 2010) se puede apreciar que el

porcentaje removido después del tratamiento no alcanzó lo exigido por la norma antes mencionada (remoción $\geq 80\%$ en carga), sin embargo, el Quitosano demuestra que, aunque no es un producto que remueve altos porcentajes de A y G se puede utilizar para disminuir el índice de contaminación presente en las aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar. Amhad y col., (2006) utilizando dosis de Quitosano de 500mg/L a pH 5,0 lograron remover cerca de un 95% de A y G en aguas residuales de aceite de palma.

Figura 28

Comportamiento de la remoción de A y G durante la aplicación del Quitosano a pH 5 respecto a la muestra

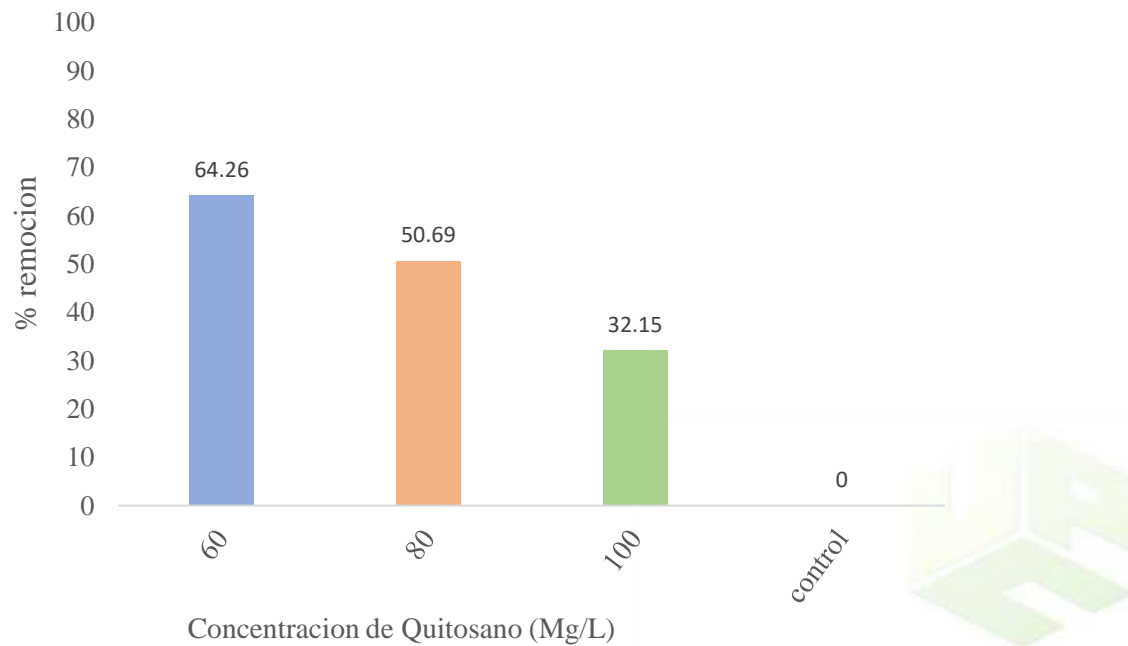


Nota. Fuente: autor 2021

Por otra parte, el tratamiento sin la influencia del Quitosano como coagulante obtuvo una efectividad de un 28,46% lo que indica que el proceso de mezcla rápida y mezcla lenta sin adición de coagulante no es eficiente para la remoción de este parámetro. En este sentido, la efectividad máxima de remoción de Quitosano con respecto al control fue del 64% para una dosis de 60 mg/L, como se aprecia en la figura 30

Figura 29

Comportamiento de la remoción de A y G durante la aplicación del Quitosano a pH 5 respecto al control

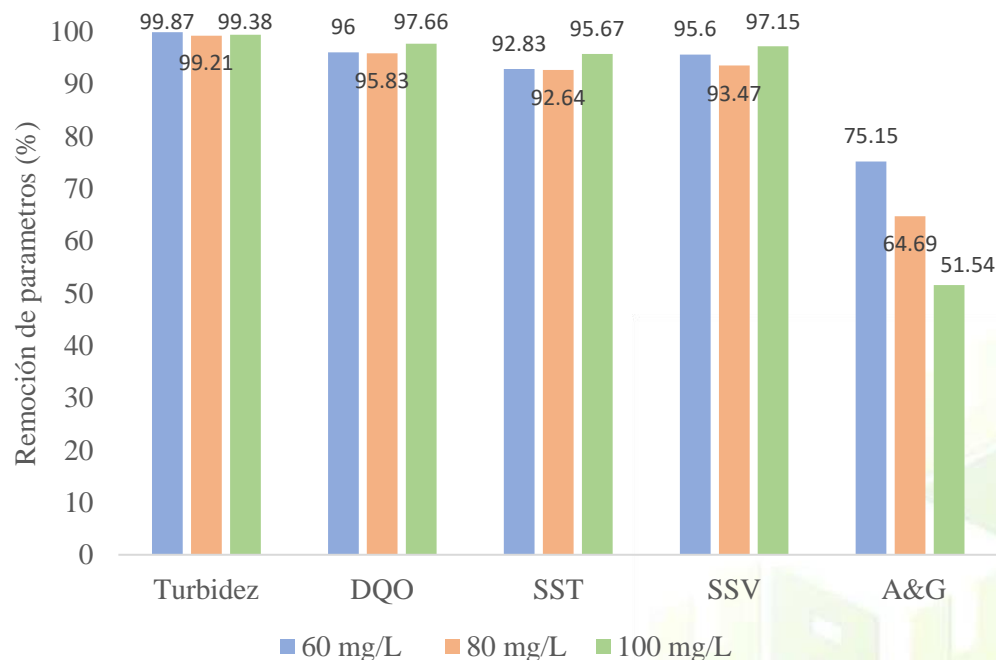


Nota. Fuente: autor 2021

7.2.3.7. Efecto de la dosis de Quitosano a pH 5. Se puede apreciar que el aumento de dosis de Quitosano (de 60 a 100 mg/L), elevó la eficiencia de remoción de turbidez, DQO, SST y SSV. Por lo tanto, se requiere una dosis de 100 mg/L para una eficiente remoción en el proceso de coagulación floculación. Torregroza (2016) indicó remociones superiores al 90% para los parámetros antes mencionados incluyendo A y G en el tratamiento de APAP con Quitosano. En condiciones ligeramente ácidas, con un pH cercano o inferior al pKa del Quitosano, la protonación de grupos amina promueve su interacción con especies aniónicas (Renault y col., 2009). Se pudo constatar que a pH ácidos (5) se obtuvo mejores remociones para aguas residuales de productos lácteos como se aprecia en la figura 31.

Figura 30

Efecto de las dosis a pH5



Nota. Fuente: autor 2021



7.2.4. Tratamiento a pH 6 en Aguas Residuales Asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s).

7.2.4.1. Comportamiento del pH. El valor del pH de la muestra inicial estuvo en 11.4 como se observa en la tabla 9 (caracterización de aguas residuales de la planta de Klaren´s) no siendo este el adecuado según lo exigido por la legislación colombiana actual para vertimientos a cuerpos de agua (decreto 3930 de 2010). Procedimos a disminuir el pH a 6.0 para determinar mediante los procedimientos de laboratorios la máxima remoción de los parámetros sugeridos. De acuerdo con López y col., (2020) en condiciones alcalinas, el Quitosano presenta una baja eficacia de coagulación, incluso a altas dosis. Lo anterior indica que el tratamiento con Quitosano para aguas residuales lácteas con un pH superior a 7 no es recomendable.

7.2.4.2. Remoción de la Turbidez. Efectuada la aplicación del Quitosano como coagulante en el tratamiento de las aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s) se observó que existe una gran eficiencia del Quitosano dentro de los rangos evaluados (140, 160, y 180) NTU para la remoción de turbidez, arrojando resultados no muy lejanos entre las dosis del coagulante aplicadas variando estas en un rango de 263,26 a 345,43 NTU (Tabla 20) que comparando con la muestra y el control es una remoción altamente significativa ya que esta tuvo una turbidez de 4518,66 y 4453,33 NTU. Esto representa una constancia de que el coagulante Quitosano se comportó de manera eficiente con el rango estipulado para el tratamiento de este tipo de aguas a pH 6.

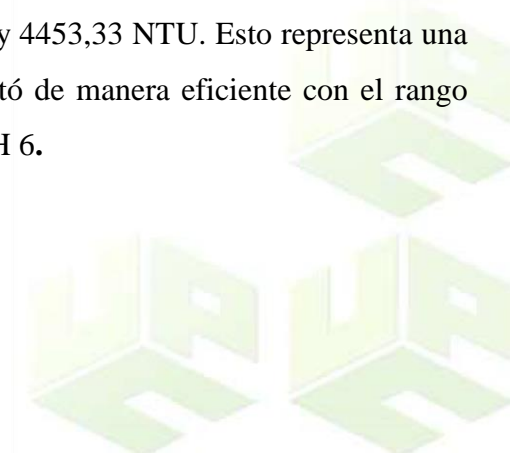




Tabla 19

Comportamiento de la remoción de turbidez durante la aplicación del Quitosano a aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s).

TRIPPLICADO Ph6	DOSIS (Mg/L)	R1 TURBIDEZ (NTU)	R2 TURBIDEZ (NTU)	R3 TURBIDEZ (NTU)	TURBIDEZ TOTAL (NTU)
		140	330	310	300
	160	280	265	244.8	263.26
	180	360	333.3	343	345.43
	CONTROL	4393	4492	4475	4453.33
	MUESTRA				4518,66

Nota. Fuente: autor 2021

El efecto de remoción de la turbidez tuvo una variación poco significativa, variando entre 92,35% a 94,17% (Figura 32), para las dosis de Quitosano evaluadas, se observó una correlación positiva entre las dosis de Quitosano y el porcentaje de remoción de turbidez, indicando que la dosis de coagulante de 160 Mg/L alcanzó la mayor remoción (94,17%), obteniéndose un remanente de 263.29 NTU respectivamente (Tabla 20). En investigaciones similares Gueetha y col., (2013) trabajo con efluentes de productos lácteos, obtuvo una remoción de cerca el 65% de turbiedad con una dosis de coagulante de 150mg/L a pH 6,0, lo que significa que para este pH la eficiencia de remoción de Qo en cuanto a turbidez se vio disminuida.

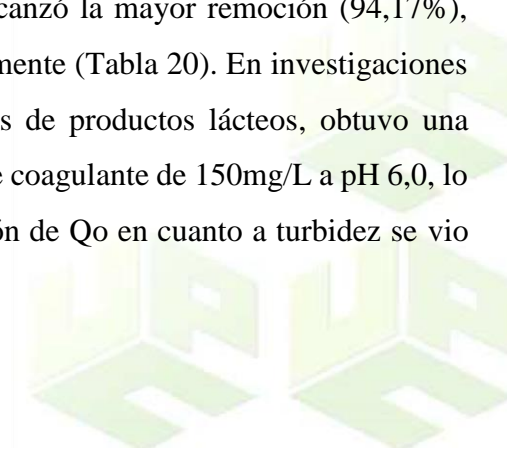
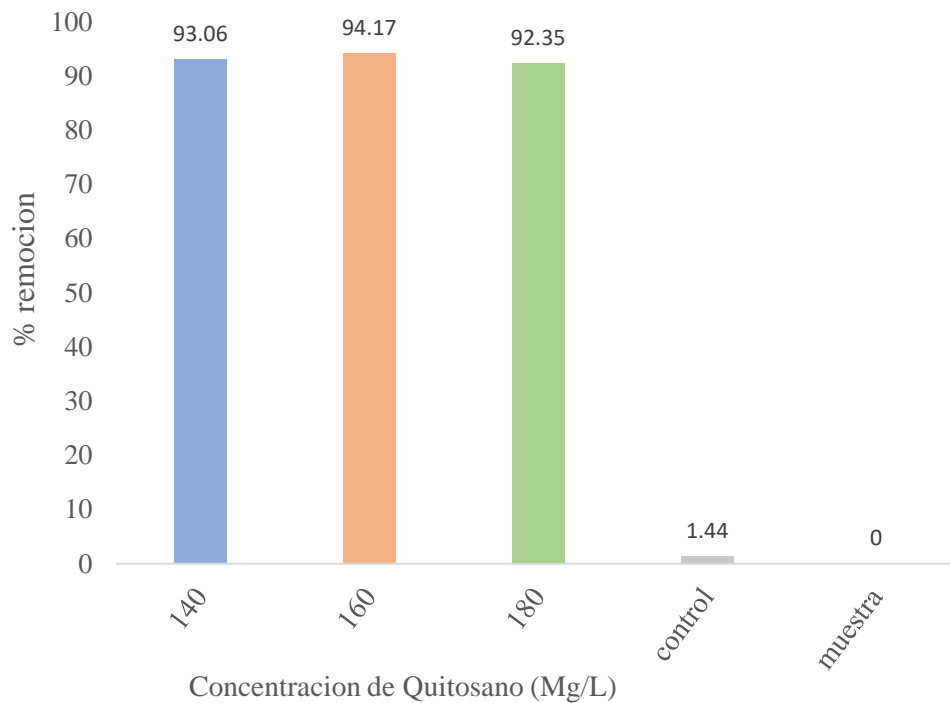




Figura 31

Comportamiento de la remoción de turbidez durante la aplicación del Quitosano a pH 6 respecto a la muestra



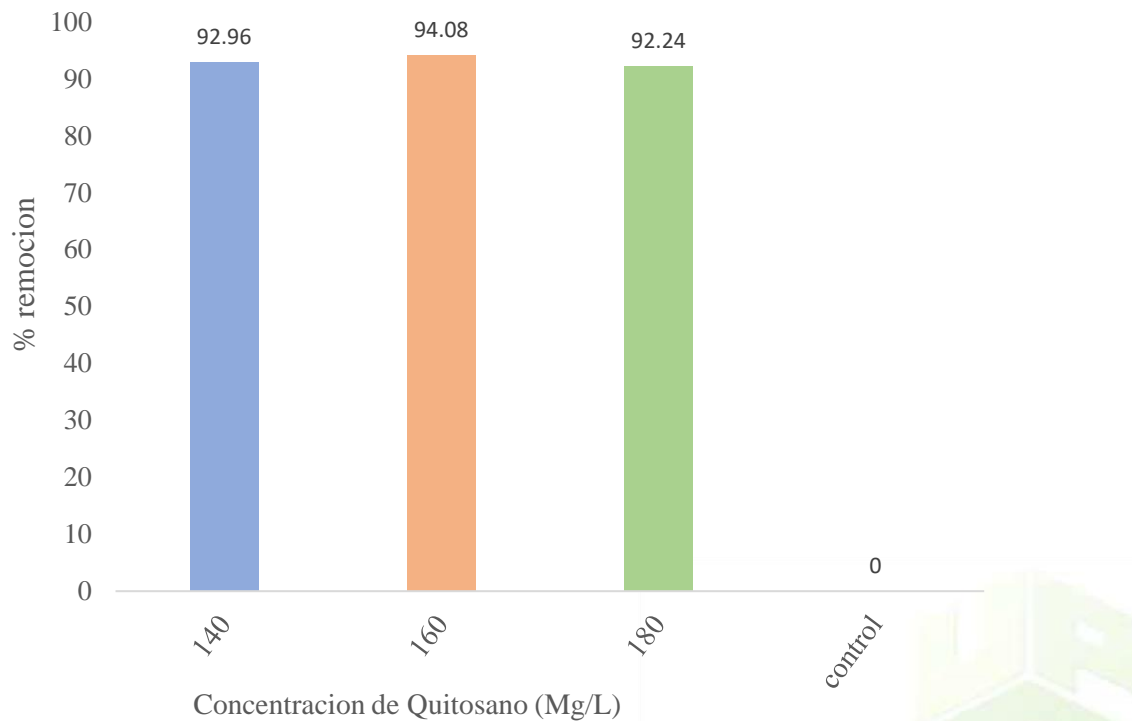
Nota. Fuente: autor 2021

el tratamiento sin la influencia del Quitosano como coagulante obtuvo una efectividad de 1.4% lo que indica que el proceso de mezcla rápida y mezcla lenta sin adición de coagulante no es eficiente para la remoción de este parámetro. Comparando con la normativa para vertimientos a cuerpos de aguas (decreto 3930 de 2010), lo que demuestra que para este tratamiento el Quitosano es un producto eficiente con remociones superiores al 92% respecto al control como se puede ver en la Figura 33.

Estos valores indican que el Quitosano fue eficiente para remover valores de turbidez altos (4518.66 NTU) presentes en las muestras de aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar.

Figura 32

Comportamiento de la remoción de turbidez durante la aplicación del Quitosano a pH 6 respecto al control



Nota. Fuente: autor 2021

7.2.4.3. Remoción de DQO. A continuación, se puede comprobar la eficiencia del Quitosano como coagulante basándonos en los resultados positivos, debido a que hubo una disminución en la concentración de carga orgánica de la muestra inicial evidenciado esto en los valores remanentes obtenidos al aplicar las dosis del coagulante como se puede observar en la (Tabla 21). En la que los valores remanes fluctuaron entre 1726,66 y 4106,66 Mg/L siendo ampliamente diferente a el valor arrojado por la muestra y el control de 8000 y 6853,33 Mg/L.

Tabla 20

Comportamiento de la remoción de DQO durante la aplicación del Quitosano a aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren's).

TRIPLICADO pH6	DOSIS	R1 DQO	R2 DQO	R3 DQO	DQO
	(Mg/L)	(Mg/L)	(Mg/L)	(Mg/L)	TOTAL (Mg/L)
	140	2800	3240	2128	2722.66
	160	2520	5600	4200	4106.66
	180	1120	1260	2800	1726.66
	CONTROL	6720	7400	6440	6853.33
	MUESTRA				8000

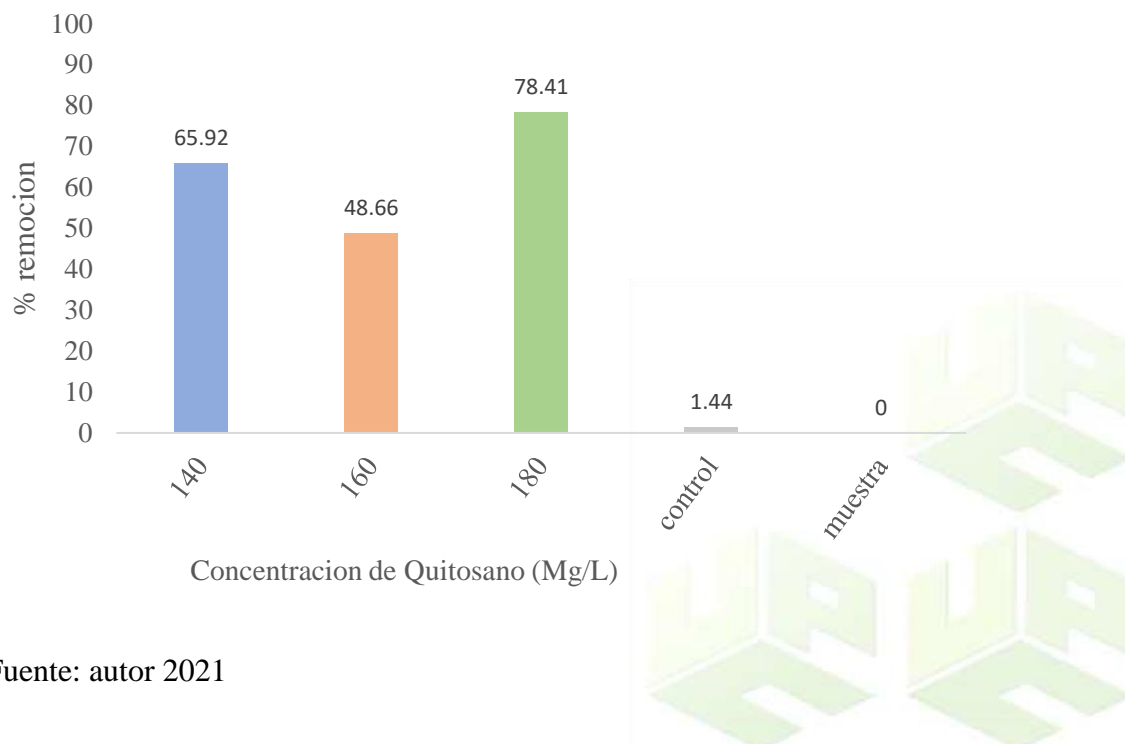
Nota. Fuente: autor 2021

Se obtuvo un rango de remoción de DQO entre 48,66% y 78,41% (Figura 34), mostrando mejor resultado la dosis de 180 Mg/L de Quitosano, donde se obtuvo un remanente de 1726,66 Mg/L (Tabla 21) alcanzándose una remoción del 78.41% con respecto

a la muestra, demostrando también gran diferencia de remoción respecto al control que removió un 14.33 %, lo que indica que el Qitosano no es eficiente para la remoción de este parámetro, comparando con la normativa para el control de los vertimientos (decreto 3930 de 2010) ya que no cumple con el rango que exige la legislación colombiana ($\geq 80\%$ en carga). No obstante, se puede utilizar para disminuir el índice de contaminación presente en las aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del cesar. Sarkar y col., (2005), trabajaron con dosis 10 y 100 Mg/L a pH 6,5, donde se observó una remoción del 20% de DQO para la dosis de 10 Mg/L.

Figura 33

Comportamiento de la remoción de DQO durante la aplicación del Qitosano a pH 6 respecto a la muestra

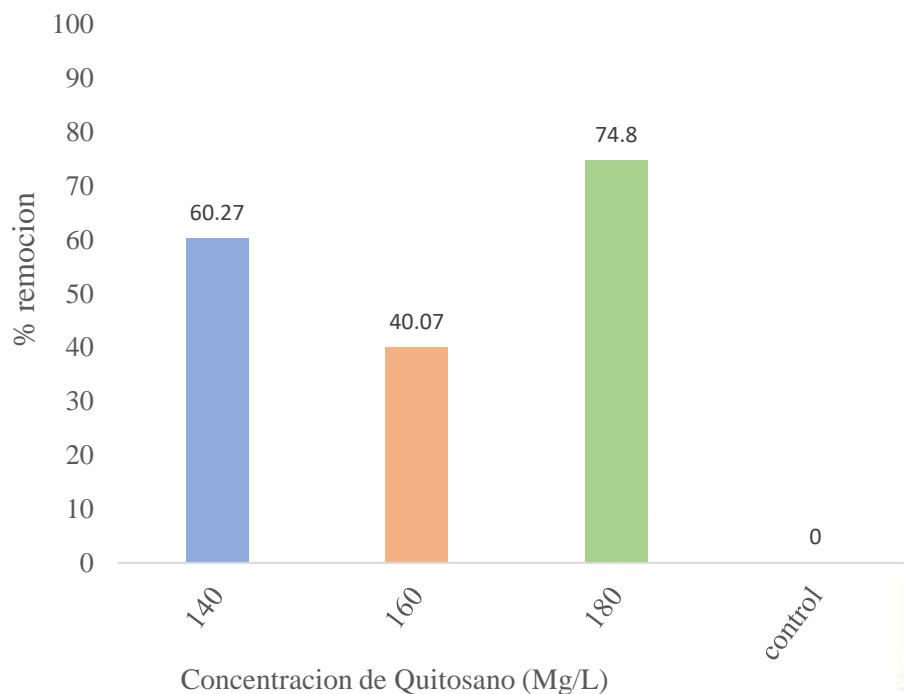


Nota. Fuente: autor 2021

Se puede apreciar las remociones obtenidas de las dosis de Quitosano respecto al control, en la figura 35, donde se presentan valores por encima del 74% para la dosis de 80 mg/L que fue la que obtuvo mayor eficiencia, y lo anterior da como resultado una buena remoción de SST con Quitosano respecto al control para la dosis de 180 Mg/L.

Figura 34

Comportamiento de la remoción de DQO durante la aplicación del Quitosano a pH 6 respecto al control



Nota. Fuente: autor 2021

7.2.4.4. Remoción de Sólidos Suspendidos Totales (SST). Aquí observamos las dosis de Quitosano aplicadas a las aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s) y el comportamiento que presento frente al parámetro de SST, arrojando remanentes que fluctuaron entre 377,75 y 788,89 Mg/L valores que se encuentran alejados del resultante de la muestra que fue 3333,33 Mg/L también resulta más eficiente que el control el cual tuvo un valor aproximadamente tres veces más para la dosis con menor remoción alto como se puede ver en la (Tabla 22) de 2215,56 Mg/L.

Tabla 21

Comportamiento de la remoción de SST durante la aplicación del Quitosano a aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s).

TRIPLICADO pH6	DOSIS	R1 SST	R2 SST	R3 SST	SST TOTAL
	(Mg/L)	(Mg/L)	(Mg/L)	(Mg/L)	(Mg/L)
	140	853.33	780.00	733.33	788.89
	160	446.67	313.33	373.26	377.75
	180	620.00	540.00	718.20	626.07
	CONTROL	1966.67	2260.00	2429.00	2215.56
	MUESTRA				3333.33

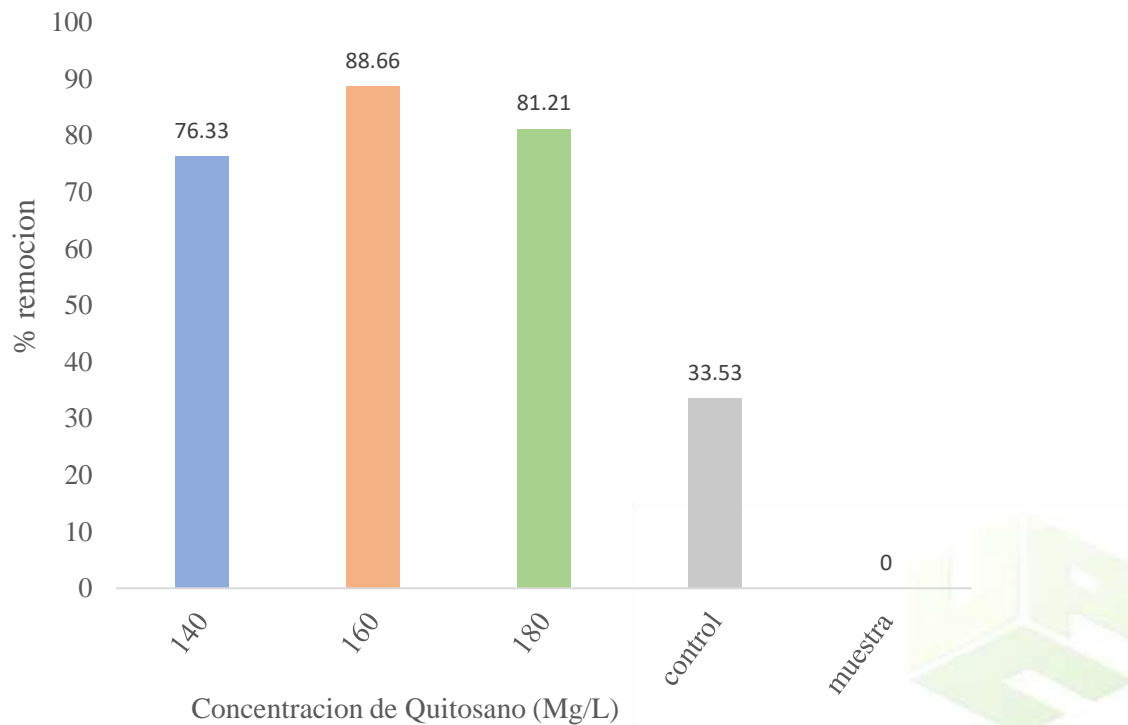
Nota. Fuente: autor 2021

Para SST se lograron remociones muy parecidas entre 76,33% y 88,66% para las dosis de Quitosano evaluadas (Figura 36), obteniendo el mejor resultado (88,66%) para las dosis de 160 Mg/L de Quitosano respecto a la muestra y también con una diferencia apreciable con el control que removió un 33,53% comparado con la muestra.

Cabe destacar que para este porcentaje los SST no presentan una remoción acorde a lo establecido en la legislación colombiana (decreto 3930 de 2010. Gueetha y col., (2013), trataron aguas residuales lácteas con Quitosano a dosis de 150 Mg/L, las cuales dieron como resultado valores de remoción de SST del 50% en pH 6.

Figura 35

Comportamiento de la remoción de SST durante la aplicación del Quitosano a pH 6 respecto a la muestra.

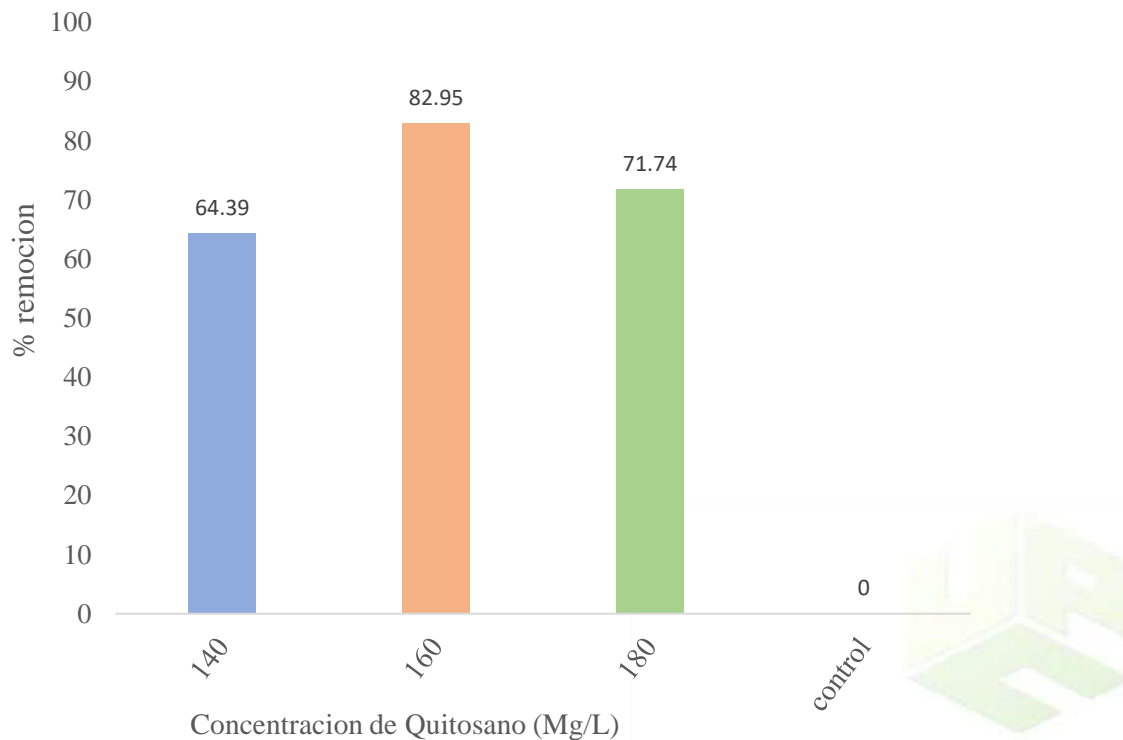


Nota. Fuente: autor 2021

Se evidencia también remociones superiores al 80% en la dosis de 160 Mg/L respecto al control (Figura 37) lo cual indica que el Quitosano se puede utilizar para disminuir el índice de contaminación presente en las aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del cesar.

Figura 36

Comportamiento de la remoción de SST durante la aplicación del Quitosano a pH 6 respecto al control



Nota. Fuente: autor 2021

7.2.4.5. Remoción de Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV). En la Tabla 23. Que observamos a continuación vemos el comportamiento de la aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s) después del tratamiento con Quitosano en el que las dosis de (140, 160 y 180) Mg/L se obtuvieron remociones con remanentes que indican que el tratamiento fue eficiente puesto que el remanente con valor más bajo y más alto fue de 286,81 y 618,86 Mg/L respectivamente y ambos valores muestran una diferencia significativa con respecto a la muestra que fue de 3133,33 Mg/L de SSV.

Tabla 22

Comportamiento de la remoción de SSV durante la aplicación del Quitosano a aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s).

TRIPLICADO pH6	DOSIS	R1 SST	R2 SST	R3 SST	SST TOTAL
	(Mg/L)	(Mg/L)	(Mg/L)	(Mg/L)	(Mg/L)
	140	586,67	673,33	590,60	618,86
	160	233,33	300,42	326,67	286,81
	180	528,64	623,33	600,00	583,99
	CONTROL	1213,33	2240,00	2386,67	1946,67
	MUESTRA				3133,33

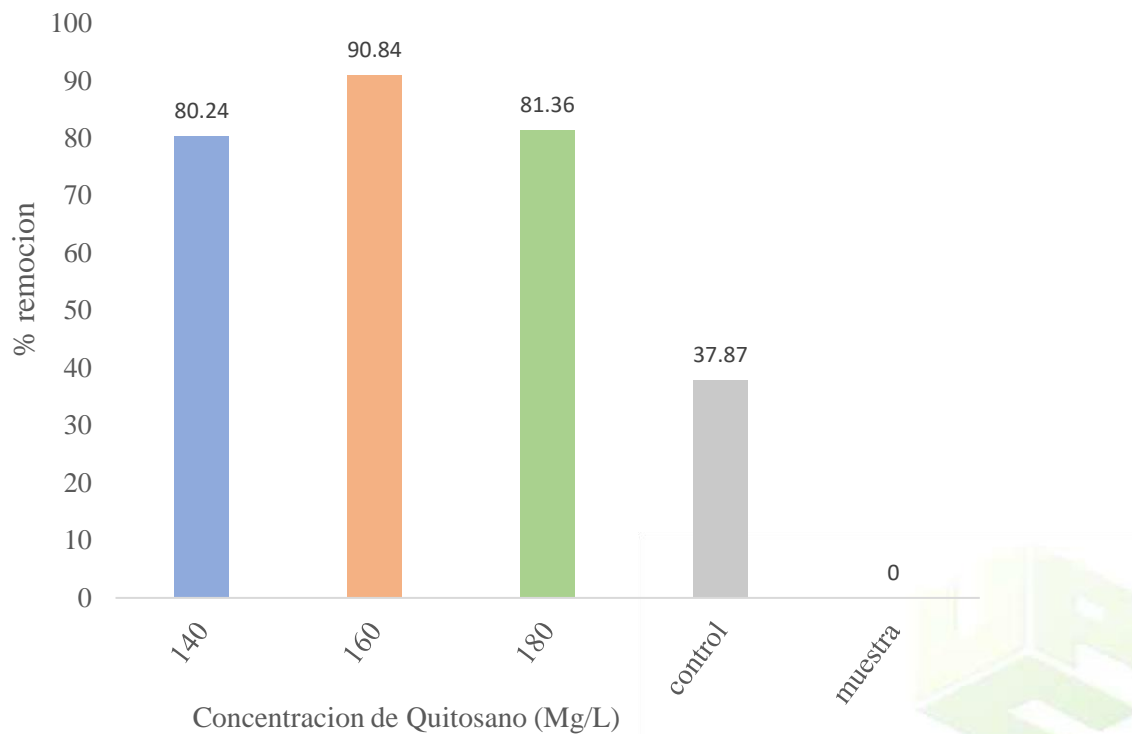
Nota. Fuente: autor 2021

Como se muestra en la Figura 38, después del tratamiento para este tipo de agua se observaron remociones de SSV semejantes con valores que fluctuaron entre 80% y 90% para las dosis de Quitosano evaluadas, mostrando un mejor resultado la dosis de 160 Mg/L de Quitosano, donde se obtuvo una remoción del 90,84% respecto a la muestra.

Torregroza (2017), evaluó la eficiencia del Quitosano en aguas de producción de aceite de palma, obteniendo 99% de remoción en SST después del tratamiento para todas las dosis de coagulante, de la misma manera, para el control obtuvo remociones superiores al 70% para este parámetro.

Figura 37

Comportamiento de la remoción de SSV durante la aplicación del Quitosano a pH 6 respecto a la muestra.

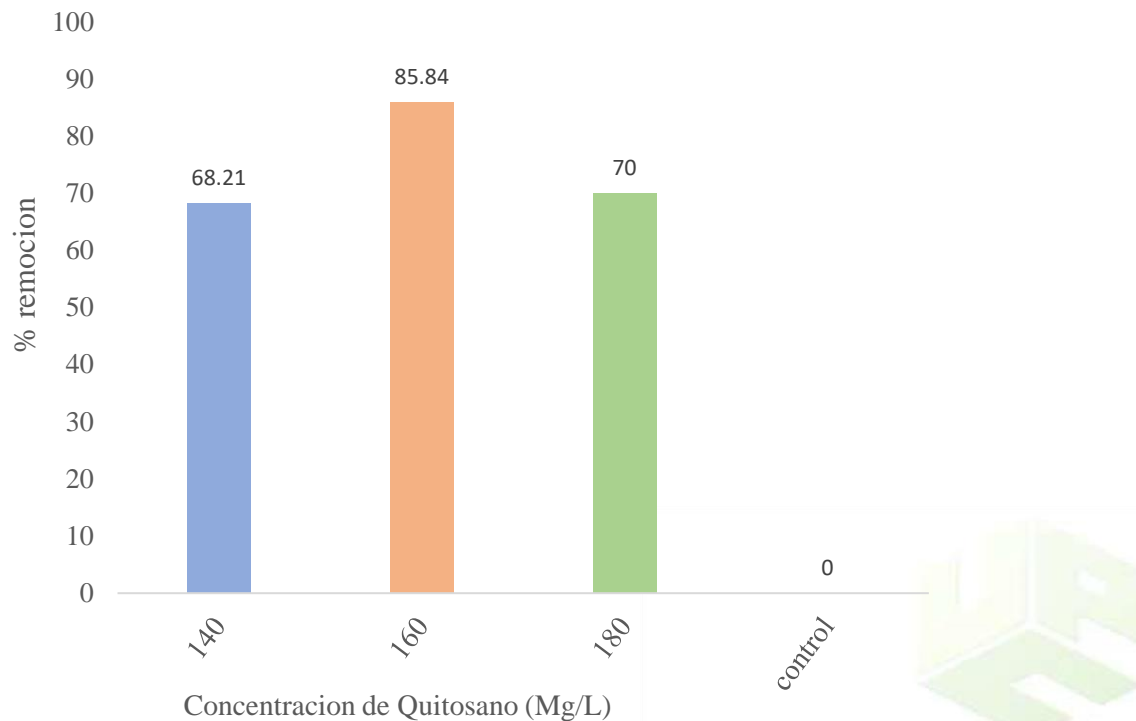


Nota. Fuente: autor 2021

Se puede observar una buena remoción de las dosis respecto al control como se evidencia en la Figura 39, comparando con la normativa para vertimientos a cuerpos de aguas (decreto 3930 de 2010) se puede apreciar que para esta variable se obtuvo una remoción que cumple con en el rango que exige la legislación colombiana ($\geq 80\%$ en carga).

Figura 38

Comportamiento de la remoción de SSV durante la aplicación del Quitosano a pH 6 respecto al control.



Nota. Fuente: autor 2021

7.2.4.6. Remoción de Aceites y Grasas (A y G). En el procedimiento hecho por triplicado para evaluar la eficiencia del Quitosano para remover A y G observamos que el comportamiento de las aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s) después del tratamiento no fue muy efectivo porque arrojó valores remanente significativamente altos con respecto a la muestra y el control que presentaron una concentración de 1300 y 1108.33 Mg/L de aceites y grasas, siendo el rango de Quitosano evaluado de (140, 160 y 180) Mg/L el cual presento concentraciones promedio de (618, 753.33 y 613.33) Mg/L respectivamente.

Tabla 23

Comportamiento de la remoción de A y G durante la aplicación del Quitosano a aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren´s).

TRIPLICADO pH6	DOSIS	R1 A y G	R2 A y G	R3 A y G	A y G
	(Mg/L)	(Mg/L)	(Mg/L)	(Mg/L)	TOTAL (Mg/L)
	140	608	720	526	618
	160	737	743	780	753.33
	180	614	630	596	613.33
	CONTROL	1200	1140	985	1108.33
	MUESTRA				1300

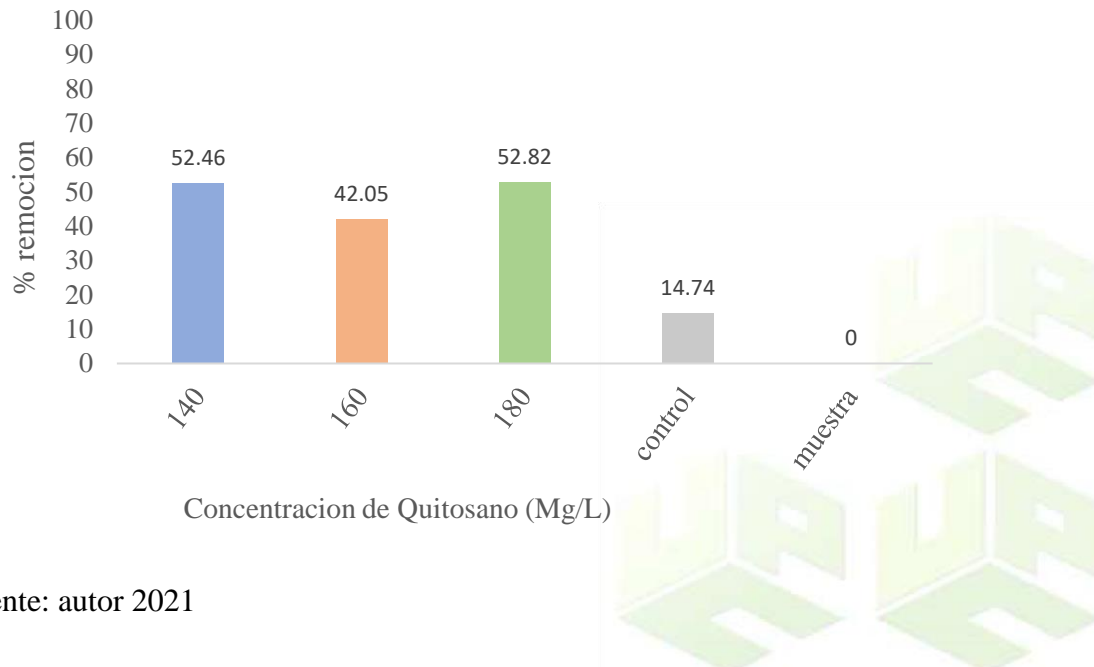
Nota. Fuente: autor 2021

Como se muestra en la Figura 40. Este parámetro mostró el mejor resultado de remoción en la dosis de 180 Mg/L siendo el porcentaje de remoción 52.82%. Estos resultados

dejan claro de que el coagulante no se comportó de manera eficiente, principalmente por su bajo rango de remoción con respecto a la muestra y el control, también, porque no cumple con el límite mínimo de remoción para aceites y grasas (remoción $\geq 80\%$ en carga) exigido por la legislación colombiana (decreto 3930 de 2010), Esto demuestra que el Quitosano no es un coagulante efectivo para eliminar el contenido de aceites y grasas de las aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del cesar a un pH de 6, sin embargo, aunque no es un producto que remueve altos porcentajes de A y G se puede utilizar para disminuir el índice de contaminación presente en este tipo de aguas residuales. Torregroza (2017) trabajó concentraciones en el rango de 100 a 400 mg/L para el parámetro A y G , obteniendo remociones en esas concentraciones de 84,3% 93,6% respectivamente, en un pH de 6.

Figura 39

Comportamiento de la remoción de A y G durante la aplicación del Quitosano a pH 6 respecto a la muestra

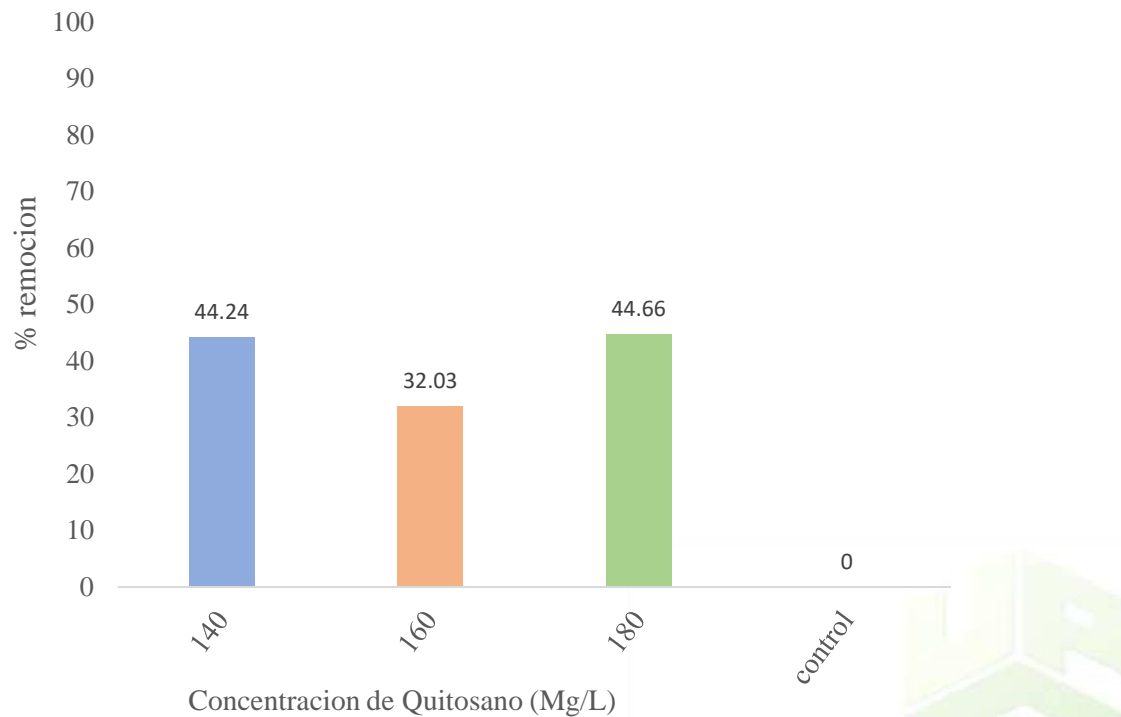


Nota. Fuente: autor 2021

Se puede apreciar en la Figura 41 la eficiencia de remoción de las dosis de Quitosano con respecto al control, dando como resultado, valores 44%, esto indica que no fue eficiente su remoción en el tratamiento con respecto al control

Figura 40

Comportamiento de la remoción de A y G durante la aplicación del Quitosano a pH 6 respecto al control.

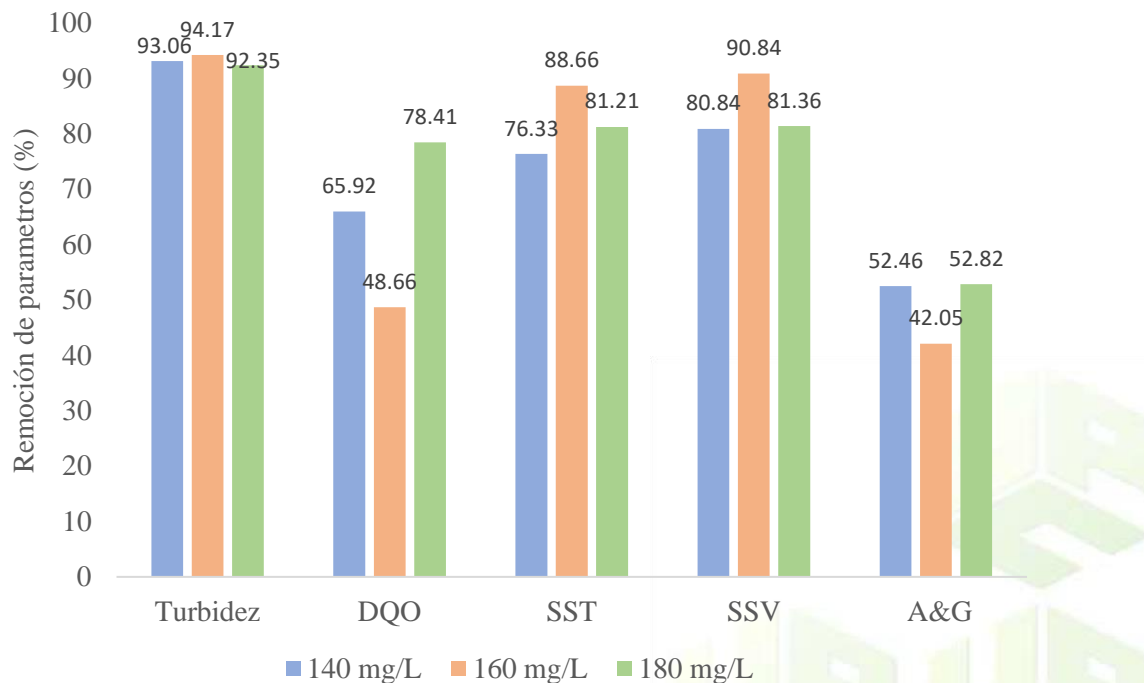


Nota. Fuente: autor 2021

7.2.4.7. Efecto de la dosis de Quitosano. Se puede apreciar que a pH 6 se aumenta la dosis de Quitosano debido a que el aumento del pH disminuye la eficacia de remoción de los parámetros en estudio, donde la dosis de 180 mg/L obtuvo mejores remociones en turbidez, A y G, como para DQO, pero dosis mayores a esta presentó re suspensión de las partículas. Dosis por encima de 160 mg/L disminuyeron la efectividad de remoción de los sólidos suspendidos. Las dosis de Quitosano <140 mg/L tiene poca influencia en la eliminación de los parámetros estudiados a pH 6. La eficiencia de eliminación de DQO disminuye a medida que el pH se vuelve alcalino con López y col. (2020).

Figura 41

Efecto de las dosis a Ph6



Nota. Fuente: autor 202



8. CONCLUSIONES.

De acuerdo a los resultados esperados en el proyecto y los resultados obtenidos, podemos decir; el quitosano es un coagulante efectivo que remueve de manera eficiente parámetros como DQO, SST, SSV, turbidez donde obtenemos remociones de hasta el 80% con respecto al control a pH 4.0 y 5.0 y en menor cantidad A y G. Las características fisicoquímicas (A y G, pH) de la muestra de las aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar a pH 5.0, no cumplen con los valores máximos exigidos por la norma (RES. 0631 de 2015), si se vertiesen directamente a cuerpos receptores. En el tratamiento de las aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar se pudo comprobar que el Quitosano es eficiente en aguas residuales con rangos de pH entre 4-6 en el proceso de coagulación floculación.

El rango de pH en el que mejor actuó el Quitosano fue de pH 5, mostro concentraciones óptimas de 60 y 100 mg/L. El Quitosano es una buena alternativa para el tratamiento de aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar. Pudiendo eliminar altas concentraciones de materia orgánica y sólidos suspendidos en porcentajes de remoción que variaron de 95 a 97% y del 92 al 95% respectivamente.

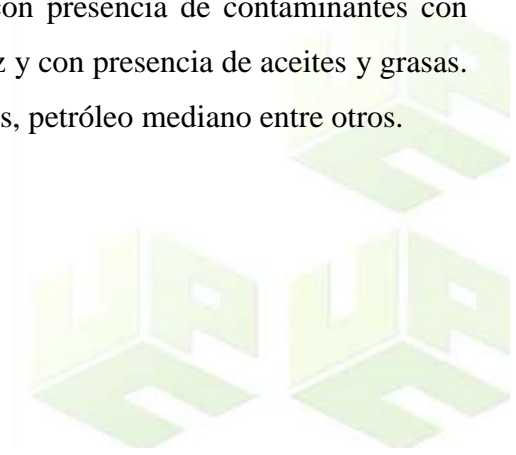
Para garantizar la eficiencia del coagulante en términos de remoción de los parámetros en estudio en aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar es necesario mantener las condiciones del pH en un rango de 5 a 6 unidades, queda demostrado que tratamientos con pH superiores a 6.0 encarecer el proceso y disminuyen la efectividad en la remoción de DQO El parámetro que mostro menor eficiencia en el tratamiento con Quitosano fue el de aceites y grasas debido posiblemente a la gran cantidad de estas en las aguas residuales de la Empresa Lácteos del Cesar y su difícil solubilidad. El Quitosano puede ser muy eficiente a la hora de tratar aguas con valores de turbidez altos mayores a 4500 NTU.



9. RECOMENDACIONES.

Para la industria Láctea y a futuras investigaciones se recomienda:

- Continuar con la línea de investigación de los coagulantes naturales como el quitosano por sus múltiples beneficios, especialmente los relacionados con los riesgos a la salud, donde se puedan evaluar parámetros diferentes a los analizados en este proyecto como DBO, sólidos disueltos totales (SDT) y color.
- Para los ensayos de mejor dosis, realizar un solo muestreo, que en lo posible sea una muestra compuesta, de esta forma se evitará los cambios permanentes que se presentan en este tipo de industrias en los parámetros de las aguas residuales asociadas a industrias lácteas.
- Realizar evaluaciones simultáneas para evaluar la eficiencia de varios coagulantes de origen natural que como el quitosano solucionen problemas de desechos orgánicos o bien puedan ser obtenidos a partir de plantas autóctonas de la región.
- Para futuras investigaciones se recomienda aplicar esta metodología de tratamiento, que de acuerdo a lo realizado en este estudio el uso del quitosano resulta efectivo para aguas residuales con presencia de contaminantes con contenido alto de sólidos, DQO, turbidez y con presencia de aceites y grasas. Como la industria sardinera, de alimentos, petróleo mediano entre otros.



10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Ahmad, A., Sumathi, S., & Hameed, B. (2005). Adsorption of residue oil from palm oil mill effluent using powder and flake chitosan: Equilibrium and kinetic studies. *Water Research*, 39(12), 2483-2494. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.03.035>

Alcaldía Municipal De Valledupar. (2016). Plan de desarrollo municipal “Valledupar Avanza 2016-2019”. Valledupar. 2016. 298 p.

Alhamed, M. (2016). The hydrogeochemistry of surface water and groundwater draining from highly anthropogenic affected abandoned coal mine fields in the south of Bochum, Germany. *Geographica Augustana*, 19(21), 38-47. <https://opus.bibliothek.uni-augsburg.de/opus4/frontdoor/deliver/index/docId/49976/file/AK-Hydro-Dresden-2015.pdf#page=42>

American Public Health Association (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23th Edition. Washington, APHA.

Andía Cárdenas, Y. (2000, abril). Tratamiento de agua: coagulación y floculación. sedapal. http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154

Andrades, J. (2008, 1 enero). Los vertidos del sector lácteo. EOI. <https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/19964/los-vertidos-del-sector-lacteo>

APHA–AWWA–WEF. (1998). Standard Methods for the examination of water and wastewater. 20th Edition. Edited by: Clesceri, L., Greenberg, A., and Eaton A. USA.

Arango Ruiz, A., & Garcés Giraldo, L. (2007). Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea. producción más limpia, 2(2), 24-30.
<http://repository.lasallista.edu.co/dspace/handle/10567/526>

Arboleda Valencia, J. (2000). teoría y práctica de la purificación del agua (3.a ed., Vol. 1). McGraw-Hill Education.

Banchón, C., Baquerizo, R., Muñoz, D., & Zambrano, L. (2016). Coagulación natural para la descontaminación de efluentes industriales. Enfoque UTE, 7(4), 111-126.
<https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v7n4.118>

Baquero Luquez, M., Ortiz Jiménez, J., & Rodríguez Díaz, Y. (todavía no publicado). Eficacia del Quitosano como coagulante en el pos-tratamiento de aguas residuales municipales. Grupo de investigación Ciencia, Ambiente y Tecnologías, Facultad de Ingeniería, Valledupar, Colombia.

Bravo, M. (2017). Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales. [Tesis de Pregrado, Universidad Distrital Francisco José De Caldas].
<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/5609/1/BravoGallardoMonicaAlejandra2017.pdf>

Buttice A.L, Alcantar N.A (2015) Sediment Removal with the Opuntia ficus-indica Cactus: A Water Purification Method for Communities in Latin America. University of South Florida, Tampa, FL, USA Current as of 2 January 2015. 2014, Pages 98–103

Caldera, Y., Clavel, N., Briseño, D., Nava, A., Gutiérrez, E., y Mármol Z. (2009). Qitosano como coagulante durante el tratamiento de agua de producción de petróleo. Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas, 43, (4), 541-555.

Calderón, C. & Mendieta, A. (2018). Evaluación de la eficiencia del STENOCEREUS GRISEUS como coagulante natural en el tratamiento de aguas residuales de la empresa lácteos del cesar s.a. (klaren's), en la ciudad de Valledupar. [Trabajo de grado, Universidad Popular del Cesar, colombia]

Cartaya, O., Peniche, C., y Reynaldo, I. (2009). Polímeros naturales recolectores de iones metálicos. Revista Iberoamericana de Polímeros, 10(2), 81-94.
<http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/MAR09/cartaya.pdf>

Crites, R., Tchobanoglous G. (2000). tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. McGraw-Hill interamericana S.A

Diaz Ponceca, N., Lino Matos, C., Quispe Huaytalla, R., (2019) uso del Qitosano como coagulante natural para el tratamiento de efluentes generados por la industria textil caso: compañía universal textil S.A. [Tesis de Pregrado, universidad nacional del callao Perú].



Díaz, J. (2013). tratamiento biológico como alternativa para disminuir el impacto ambiental ocasionado por el drenaje ácido, generado por la actividad minera en el municipio de marmato- caldas. [Tesis de maestría, Universidad de Manizales, Manizales]

Díaz, J. (2014). Coagulantes – floculantes orgánicos e inorgánicos elaborados de plantas y del reciclaje de la chatarra, para el tratamiento de aguas contaminadas. Tomado de: file:///E:/Usuarios/Datos%20Usuario/Downloads/coagulantes-floculantes-organicos-e-inorganicos-elaborados-de-plantas-y-del-reciclaje-de-la-chatarra-para-el-tratamiento-de-aguas-contaminadas%20(1).pdf

Divakaran R. y Pillai S. (2002). Flocculation of river silt using chitosan. Water Research 36 (35), 2412-2418.

Duarte, E., Olivero Verbel, J., Jaramillo, B., (2009) remoción de cromo de aguas residuales de curtiembres usando quitosan obtenido de desechos de camarón. Scientia Et Technica, 15(42), 290-295.

Geetha Devi, M., Dumaran, J. J., & Feroz, S. (2012). Dairy Wastewater Treatment Using Low Molecular Weight Crab Shell Chitosan. Journal of The Institution of Engineers (India): Series E, 93(1), 9–14. <https://doi.org/10.1007/s40034-012-0005-2>

Granados, C. C., Torrenegra, M. A., & Corrales, M. (2016). elaboración y evaluación de suero costeño con adición de lactobacillus lactis. @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria, 14(2), 89-97. <https://doi.org/10.24054/16927125.v2.n2.2016.2572>



Guzmán, K. (2013, 1 abril). La industria de lácteos en Valledupar: primera en la región Caribe. banco de la república de Colombia. <https://www.banrep.gov.co/es/dtser-184>
<https://www.redalyc.org/pdf/849/84916714054.pdf>

Johnson, D. B., & Hallberg, K. B. (2005). Acid mine drainage remediation options: A review. *Science of the Total Environment*, 338(1-2), 3–14.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.09.002>

Kushwaha, J. P., Srivastava, V. C., & Mall, I. D. (2011). An overview of various technologies for the treatment of dairy wastewaters. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(5), 442–452. <https://doi.org/10.1080/10408391003663879>

Lárez Velásquez, C. (2003). algunos usos del Quitosano en sistemas acuosos. revista iberoamericana de polímeros, 4(2), 91-109.
<https://reviberpol.files.wordpress.com/2019/08/2003-cristobal.pdf>

Lárez Velásquez, C. (2006). Quitina y Quitosano: materiales del pasado para el presente y el futuro. *avances en química*, 1(2), 15-21. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93310204>

Mendoza, A. (2013). Propuesta de un sistema de tratamiento de aguas residuales. [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica Tula-mexico].

Mercado, C. & Rodríguez, D. (2014). Eficiencia del Quitosano como coagulante en el tratamiento de las aguas asociadas a la producción de aceite de palma. [Trabajo de grado, Universidad Popular del Cesar, colombia]



Metcalf & Eddy, Inc. (1996). Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización. (3rd ed., vol. 1) McGraw-Hill. México, D.F. 1484p.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2016, marzo). Implementación política para mejorar la competitividad del sector lácteo nacional.

<https://www.minagricultura.gov.co/ministerio/direcciones/documents/informe%20ue%20fase%20segundo%20tramo%20variable%20%28marzo%202016%29.pdf>

Mohd, A., Tan, L., & Zainura, N. (2009). Coagulation and Flocculation Treatment of Wastewater In Textile Industry Using Chitosan. Journal of Chemical and Natural Resources Engineering, 1-11.

Monrroy, M. (2010). carbonos activados con actividad biológica: aplicación en la degradación de compuestos fenólicos procedentes de aguas residuales de la industria metalúrgica de nobsa–boyacá. [Tesis de Maestría, universidad nacional de colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/11280/186323.2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Montalvo, R. (2013). Remoción de aceite en aguas residuales de refinación del petróleo mediante adición de reactivos químicos y separación por flotación natural o con aire disuelto. [Trabajo de grado, Universidad nacional autónoma de México, México]

Montgomery, D. (2006). Diseño y análisis de experimentos. 2th edición. Limusa Wiley. 60 p.



Muniz, G. L., Borges, A. C., da Silva, T. C. F., Batista, R. O., & de Castro, S. R. (2020). Chemically enhanced primary treatment of dairy wastewater using chitosan obtained from shrimp wastes: optimization using a Doehlert matrix design. *Environmental Technology*, 43(2), 237–254. <https://doi.org/10.1080/09593330.2020.1783372>

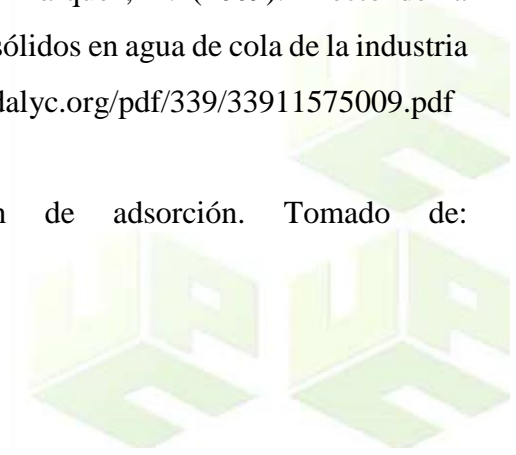
Muñoz, A. (2008). Caracterización y tratamiento de aguas residuales. [Tesis de Pregrado, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo]. <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/514/?sequence=1>

Norzita, N., & Nor, A. (2013). Treatment of Textile Wastewater using Biodegradable Flocculants of Chitosan and Extracted Pandan Leaves. *Jurnal Teknologi*, 64(1) 1-7. <https://pdfs.semanticscholar.org/b65f/743db239cb505ea2feebd70d4b7b89c6ef14.pdf>

Oliva, J., Giacomani, G., Pérez, M. (2008). Estudio de la dinámica de sedimentación de lodos mediante un sistema óptico. Tomado de <https://www.redalyc.org/pdf/467/46712202.pdf>

Pacheco, R., Leyva, P., Carvallo, G., García, L., & Márquez, E. (2009). Efecto de la concentración de Quitosano y pH sobre la remoción de sólidos en agua de cola de la industria sardinera. *Interciencia*, 34(4), 274-279. <https://www.redalyc.org/pdf/339/33911575009.pdf>

Pérez, J. & Gardey, A. (2015). Definición de adsorción. Tomado de: <https://definicion.de/adsorcion/>





Pezoti Junior, O., Cazetta, A., Gomes, R., Barizão, E., Souza, I., Martins, A., Asefa, T., Almeida, V. (2014). Synthesis of ZnCl₂-activated carbon from macadamia nut endocarp (*Macadamia integrifolia*) by microwave-assisted pyrolysis: optimization using RSM and methylene blue adsorption. *Journal of analytical and applied pyrolysis*. 105, 166–176. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2013.10.015>

Ramírez, H., & Jaramillo, J. (2015). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*. 11(2), 136-153. <http://dx.doi.org/10.18359/rfcb.1303>.

Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico, título C de 2013 [ministerio de vivienda, ciudad y territorio]

Renault, F., Sancey, B., Badot, P., & Crini G. (2009). Chitosan for coagulation/flocculation processes – An eco-friendly approach. *European Polymer Journal*, 45, 1337–1348. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2008.12.027>

Ríos, N., Navarro, R., Ávila, M., y Mendizábal, E. (2006). Obtención de sulfato de Quitosano y su aplicación en el proceso de coagulación-floculación de suspensiones coloidales aniónicas de caolinita. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 7(3), 145-161. <https://reviberpol.files.wordpress.com/2019/08/2006-rios.pdf>

Rodríguez Díaz, Y. J., De la Cruz Frías, G. A., López Mena, W. E., Ricaurte Valdés, L., & Morales Gutiérrez, M. L. (2015). Uso de un polímero natural (Quitosano) como coagulante durante el tratamiento de agua para consumo. *INGENIARE*, 11(19), 25-32. <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.19.466>.



Rodríguez Jiménez, D., & Gallego Suárez, D. (2019). Evaluación del Quitosano como coagulante para el tratamiento de efluentes piscícolas. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 21(1), 6-17. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v21n1.73340>

Romero, J. (2004). *tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño*: editorial escuela colombiana de ingeniería.

Romero, J. (2009). *calidad del agua*. 3ra edición: editorial escuela colombiana de ingeniería.

Šćiban, M., Klačnja, M., Antov, M., & Škrbić, B. (2009). Removal of water turbidity by natural coagulants obtained from chestnut and acorn. *Bioresource Technology*, 100(24), 6639–6643. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.06.047>

Sarkar, B., Chakrabarti, P., Vijaykumar, A., & Kale, V. (2006). Wastewater treatment in dairy industries — possibility of reuse. *Desalination*, 195(1–3), 141–152. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.11.015>

Shak, K., & Wu, T. (2014). Coagulation – flocculation treatment of high-strength agro-industrial wastewater using natural *Cassia obtusifolia* seed gum: Treatment efficiencies and flocs characterization. *chemical engineering journal*, 256, 293–305. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.06.093>

Sincero A. P. and Sincero G.A. (2003) *Physical Chemical Treatment of Water and Wastewater*. WA Publishing CRC Press. U.K.



Tikariha, A., & Sahu, O. (2014). Study of Characteristics and Treatments of Dairy Industry Waste Water. *Journal of Applied & Environmental Microbiology*, 2(1), 16–22. <https://doi.org/10.12691/JAEM-2-1-4>

Torregroza, A., (2017). Eficiencia de coagulantes en el tratamiento de aguas residuales asociadas a la producción de aceites de palma en Palmacara Cesar. [Trabajo de grado de Maestría en Ciencias Naturales, Universidad Popular del Cesar.]

Valencia, A. Rincón, C. Rincón, A. Orjuela, R. Cristancho, D. (2018) DIPLOMADO DE PROFUNDIZACION SUPPLY CHAIN MANAGEMENT FASE 10. [Trabajo de grado, Universidad nacional abierta y a distancia (UNAD)]

Vijayaraghavan, G., Sivakumar, T., & Vimal Kumar, A. (2011). APPLICATION OF PLANT BASED COAGULANTS FOR WASTE WATER TREATMENT. *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*, 1(1), 88-92. <https://www.technicaljournalsonline.com/ijaers/VOL%20I/JAERS%20VOL%20I%20ISSUE%20I%20%20OCTBER%20DECEMBER%202011/18%20JAERS.pdf>

Wang L.K., Hund, Y. and Shamma N.K. (2005) *Physicochemical Treatment Processes. Vol 3 Handbook of Environmental Engineering*. Humana Press. New. Jersey.

You, L., Lu, F., Li, D., Qiao, Z., & Yin, Y. (2009). Preparation and flocculation properties of cationic starch/chitosan crosslinking-copolymer. *Journal of Hazardous Materials*, 172(1), 38–45. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.06.120>

11. APLICACIÓN DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental se aplicó para determinar cuál fue el mejor tratamiento en el que se comportaron las aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del Cesar. Como se mencionó en el procedimiento metodológico el diseño aplicado fue el de diseño completamente al azar con soporte de prueba de Tukey.

Tabla 24

Tratamientos tenidos en cuenta para cada uno de los parámetros

T1 = pH4,0 + temperatura ambiente °C + Agua residual + Quitosano

T2 = pH5,0 + temperatura ambiente °C + Agua residual + Quitosano

T3 = pH6,0 + temperatura ambiente °C + Agua residual + Quitosano

PARÁMETRO TURBIDEZ.

Tabla 25

Repeticiones y tratamientos para Turbidez

Tratamiento para Turbidez				
Repeticiones	T1	T2	T3	
1	34,55	6,71	280	
2	30	31,17	265	
3	36,5	46,26	244,8	
Total	101,05	84,14	789,80	974,99
χ	33,68	28,05	263,27	325,00



Tabla 26

Análisis de varianza para Turbidez

ANOVA						
FV	GL	SC	CM	FC	Ft	
					95%	99%
TTO	2	108068,72	54034,36	224,67	5,14	10,92
EE	6	1443,01	240,50			
Total	8	109511,74				

Como $F_c > F_t$ el análisis de varianza nos indica que existe diferencia significativa entre los tratamientos y demuestra que la dosis óptima de coagulante a diferente pH tiene diferente comportamiento estadístico y presenta diferente eficiencia.

Tabla 27

Comparaciones de media, Coeficiente de variación y prueba de Tukey

x1	33,68	 x1-x2 	5,64	Tukey	38,85
x2	28,05	 x1-x3 	229,58*	CV	14,31 %
x3	263,27	 x2-x3 	235,22*		

* La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

a. Las pruebas t de Tukey tratan un grupo como un control, y comparan todos los demás grupos con este.

En la Tabla 28 se aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. El asterisco que se encuentra al

lado de los 3 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 0.05 de confianza. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa Tukey. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0, con lo cual se concluye que a medida que disminuye el pH del agua residual, el Quitosano es más eficiente para la remoción de este parámetro.

PARÁMETRO DQO.

Tabla 28

Repeticiones y tratamientos para DQO

Tratamiento para DQO				
Repeticiones	T1	T2	T3	
1	120	80	1120	
2	40	320	1260	
3	80	160	2800	
Total	240,00	560,00	5180,00	5980,00
χ	80,00	186,67	1726,67	1993,33

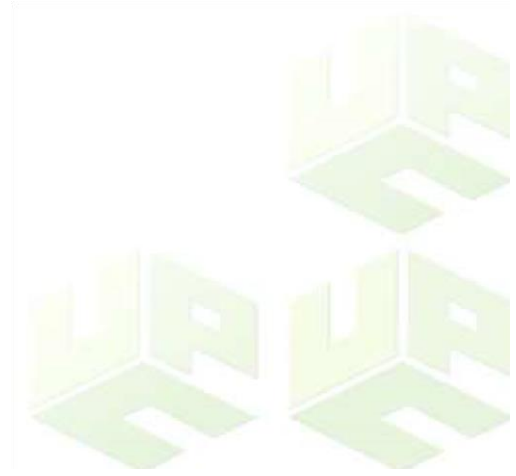




Tabla 29

Análisis de varianza para DQO

ANOVA						
FV	GL	SC	CM	FC	Ft	
					95%	99%
TTO	2	5094488,89	2547244,44	8,63	5,14	10,92
EE	6	1770933,33	295155,55			
Total	8	6865422,22				

el análisis de varianza nos indica que existe diferencia significativa entre los tratamientos y demuestra que la dosis óptima de coagulante a diferente pH tiene diferente comportamiento estadístico y presenta diferente eficiencia.

Tabla 30

Comparaciones de media, Coeficiente de variación y prueba de Tukey

x1	80,00	 x1-x2 	106,67	Tukey	1361,30
x2	186,67	 x1-x3 	1646,67*	CV	81,76 %
x3	1726,67	 x2-x3 	1540,00*		

* La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

a. Las pruebas t de Tukey tratan un grupo como un control, y comparan todos los demás grupos con este.

La prueba de Tukey revela diferencias estadísticas significativas entre las medias de los tratamientos lo que significa que la dosis óptima de coagulante aplicada en las aguas

residuales asociadas a la empresa Lácteos del cesar a diferente pH presenta diferente eficiencia de remoción de DQO, con lo cual se concluye que a medida que disminuye el pH del agua residual, el Quitosano es más eficiente para la remoción de este parámetro.

PARÁMETRO SST.

Tabla 31

Repeticiones y tratamientos para SST

Tratamiento para SST				
Repeticiones	T1	T2	T3	
1	60	170	446,67	
2	126,67	126,67	313,33	
3	66,67	136,67	373,26	
Total	253,34	433,34	1133,26	1819,94
χ	84,45	144,45	377,75	606,65





Tabla 32

Análisis de varianza para SST

ANOVA						
FV	GL	SC	CM	FC	Ft	
					95%	99%
TTO	2	144060,80	72030,40	34,18	5,14	10,92
EE	6	12645,98	2107,66			
Total	8	156706,78				

El análisis de varianza nos indica que existen diferencias estadísticas entre las medias de los tratamientos, por lo tanto, se demuestra que la dosis óptima de coagulante a diferente pH tiene diferente comportamiento estadístico y presenta diferente eficiencia.

Tabla 33

Comparaciones de media, Coeficiente de variación y prueba de Tukey

x1	84,45	 x1-x2 	60,00	Tukey	115,03
x2	144,45	 x1-x3 	293,31*	CV	22,70 %
x3	377,75	 x2-x3 	233,31*		

* La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

a. Las pruebas t de Tukey tratan un grupo como un control, y comparan todos los demás grupos con este.

La prueba de Tukey revela diferencias estadísticas significativas entre las medias de los tratamientos lo que significa que la dosis óptima de coagulante aplicada en las aguas

residuales asociadas a la empresa Lácteos del cesar a diferente pH presenta diferente eficiencia de remoción de SST, con lo cual se concluye que a medida que disminuye el pH del agua residual, el Quitosano es más eficiente para la remoción de este parámetro.

PARÁMETRO SSV

Tabla 34

Repeticiones y tratamientos para SSV

Tratamiento para SSV				
Repeticiones	T1	T2	T3	
1	53,33	80	233,33	
2	120	86,67	300,42	
3	20	100	326,67	
Total	193,33	266,67	860,42	1320,42
χ	64,44	88,89	286,81	440,14

Tabla 35

Análisis de varianza para SSV

ANOVA						
FV	GL	SC	CM	FC	Ft	
					95%	99%
TTO	2	89214,10	44607,05	26,69	5,14	10,92
EE	6	10026,81	1671,14			
Total	8	99240,91				

El análisis de varianza nos indica que existen diferencias estadísticas entre las medias de los tratamientos, por lo tanto, se demuestra que la dosis óptima de coagulante a diferente pH tiene diferente comportamiento estadístico y presenta diferente eficiencia.

Tabla 36

Comparaciones de media, Coeficiente de variación y prueba de Tukey

x1	64,44	 x1-x2 	24,45	Tukey	102,43
x2	88,89	 x1-x3 	222,36*	CV	27,86 %
X3	286,81	 x2-x3 	197,92*		

* La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

a. Las pruebas t de Tukey tratan un grupo como un control, y comparan todos los demás grupos con este.

La prueba de Tukey revela diferencias estadísticas significativas entre las medias de los tratamientos lo que significa que la dosis óptima de coagulante aplicada en las aguas residuales asociadas a la empresa Lácteos del cesar a diferente pH presenta diferente eficiencia de remoción de SSV, con lo cual se concluye que a medida que disminuye el pH del agua residual, el Quitosano es más eficiente para la remoción de este parámetro.



PARÁMETRO A Y G.

Tabla 37

Repeticiones y tratamientos para A y G

Tratamiento para A y G				
Repeticiones	T1	T2	T3	
1	430	286	614	
2	459	427	630	
3	460	256	596	
Total	1349,00	969,00	1840,00	4158,00
χ	449,67	323,00	613,33	1386,00

Tabla 38

Análisis de varianza para A y G

ANOVA						
FV	GL	SC	CM	FC	Ft	
					95%	99%
tto	2	127124,66	63562,33	21,38	5,14	10,92
EE	6	17833,33	2972,22			
Total	8	144958,00				

El análisis de varianza nos indica que existen diferencias estadísticas entre las medias de los tratamientos, por lo tanto, se demuestra que la dosis óptima de coagulante a diferente pH tiene diferente comportamiento estadístico y presenta diferente eficiencia.



Tabla 39

Comparaciones de media, Coeficiente de variación y prueba de Tukey

x1	449,67	 x1-x2 	126,67	Tukey	136,6
x2	323,00	 x1-x3 	163,67	CV	11,80 %
x3	613,33	 x2-x3 	290,33		

* La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

a. Las pruebas t de Tukey tratan un grupo como un control, y comparan todos los demás grupos con este.

La prueba de Tukey revela diferencias estadísticas significativas entre las medias de los tratamientos lo que significa que la dosis óptima de coagulante aplicada en las aguas residuales asociadas a la empresa Lácteos del cesar a diferente pH presenta diferente eficiencia de remoción de A y G, con lo cual se concluye que a medida que disminuye el pH del agua residual, el Quitosano es más eficiente para la remoción de este parámetro.



12. REGISTRO FOTOGRÁFICO.

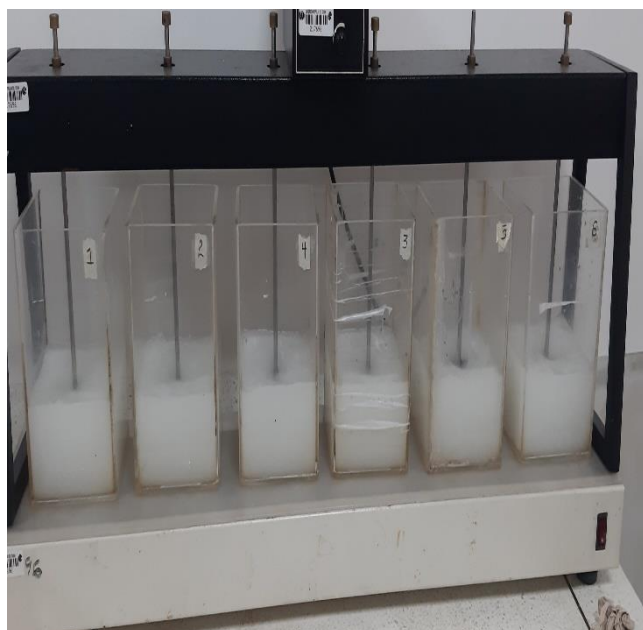
Fotografía 1. Lugar de muestreo



Fotografía 2. Sitio de toma de muestra



Fotografía 3. Muestra de agua



Fotografía 4. Mufla





**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



Fotografía 5. Turbidímetro.



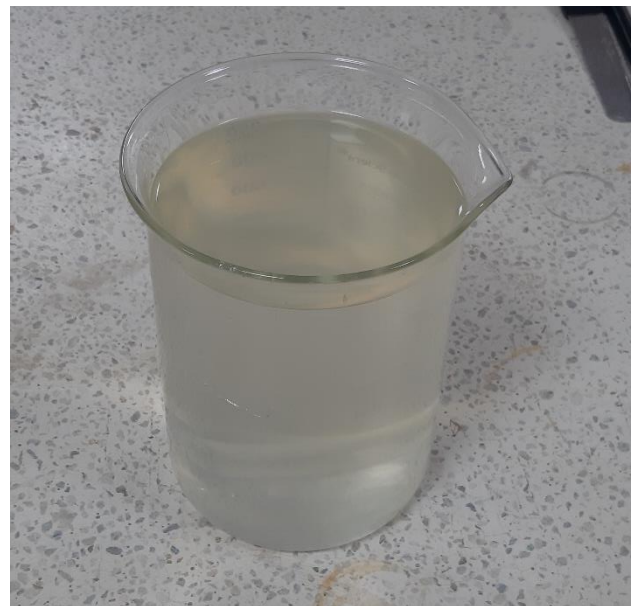
Fotografía 6. Pesado del coagulante.



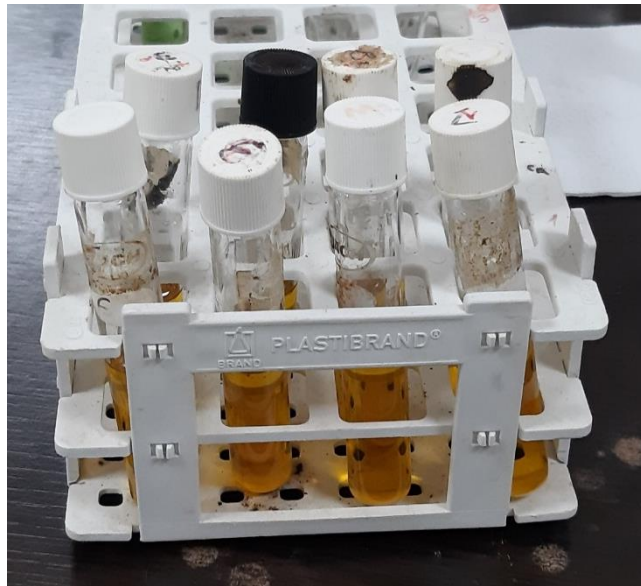
Fotografía 7. Dosificación del coagulante



Fotografía 8. Solución de Quitosano.



Fotografía 9. Tubos de digestión listos para titular



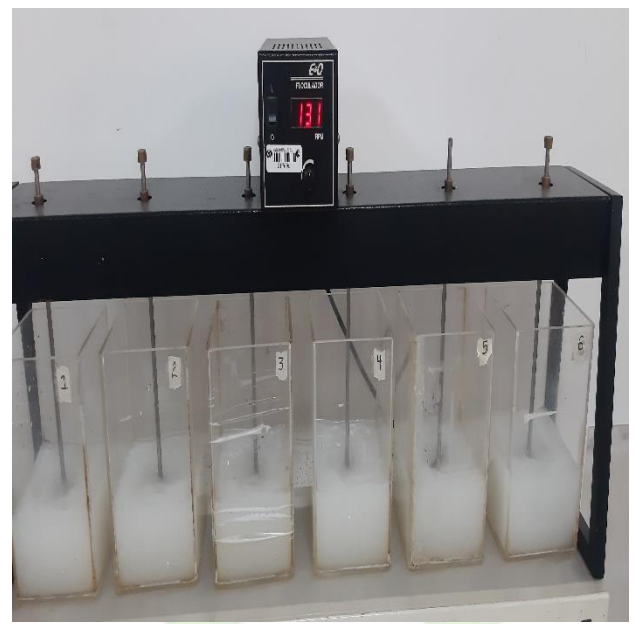
Fotografía 10. Tubos de digestión en biodigestor.



Fotografía 11. Proceso de coagulación de la muestra, Mezcla lenta



Fotografía 12. Proceso de coagulación de la muestra, Mezcla rápida



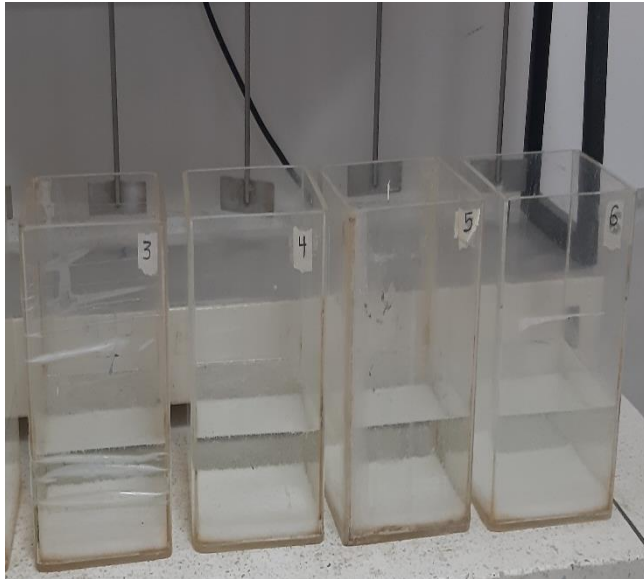


**Universidad
Popular del Cesar**

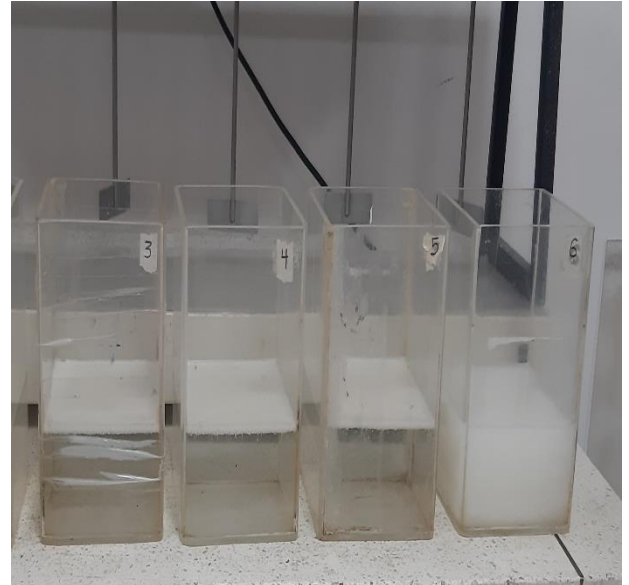
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



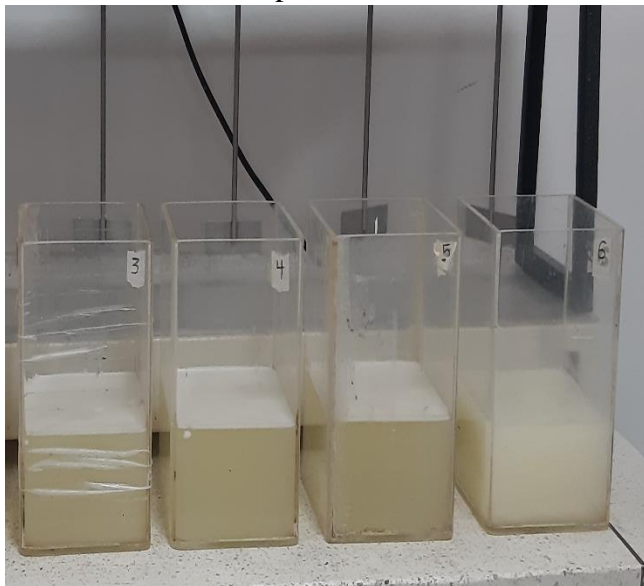
Fotografía 13. Fase de sedimentación de la
de la muestra pH 4.



Fotografía 14. Fase de sedimentación
muestra pH 5



Fotografía 15. Fase de sedimentación de la
muestra pH 6.



Fotografía 16. Prueba de DQO





**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



Fotografía 17. Pruebas de SST y SSV



Fotografía 18. Montaje de sólidos suspendidos



Fotografía 19. Muestras de sólidos para secar.



Fotografía 20. Muestra de sólidos en campana



Fotografía 21. Montajes de aceite y grasas.



Fotografía 22. Aceites y grasas filtrado.

